RF 通信トレーナ

GRF-1300
学生用教本

ユーザーマニュアルと教科書
GW INSTEK PART NO. 82RF-13000M01

ISO-9001 CERTIFIED MANUFACTURER

GW INSTEK

本マニュアルについて

ご使用に際しては、必ず本マニュアルを最後までお読みいただき、
正しくご使用ください。また、いつでも見られるよう保存してください。

本書の内容に関しましては万全を期して作成いたしましたが、万一不審な点や誤り、記載漏れなどがございましたらご購入元または弊社までご連絡ください。

このマニュアルは著作権によって保護された知的財産情報を含んでいます。当社はすべての権利を保持します。当社の文書による事前の承諾なしに、このマニュアルを複写、転載、他の言語に翻訳することはできません。

このマニュアルに記載された情報は印刷時点のものです。部品の仕様、機器、および保守手順は、いつでも予告なしで変更することがありますので予めご了承ください。

Microsoft、Windows XP および Excel は米国マイクロソフト社の登録商標です。

Good Will Instrument Co., Ltd.
No. 7-1, Jhongsing Rd., Tucheng Dist., New Taipei City 236, Taiwan.

目次

安全について 2

本本書について 5

初めに 5
パッケージの内容 7
仕様と機能 7
装置を使う 9

時間と周波数ドメインの概要 14
異なる視点からの観測 14

スペクトラム·アナライザについて 21
放送受信機 21
アッテネータ(減衰器) 22
分解能帯域幅(RBW:Resolution Bandwidth Filter) 22
検出器 24
ビデオ帯域フィルタ 24

RF 通信と信号実験 27
学習 1:スペクトラムアナライザの基本操作 28
学習 2: ベースバンド波形の測定 31
学習 3:異なるベースバンドの波形とその高調波測定 34
学習 4:RF キャリアの測定 38
学習 5： AM 信号の測定 48
学習 6： FM 信号の測定 56
学習 7:通信システムでスペクトラムアナライザを使用する 65
学習 8: 通信機器の測定 71
実験 9:生産ラインのアプリケーション 74

学習成果のテスト 78

付録 85
dBm 換算表 85
dB と dBc の関係 85
抵抗値:π-type 抵抗アッテネータ 86
抵抗値:T-type 抵抗アッテネータ 87
変調指数と側波帯振幅比較表 88
Declaration of Conformity 89

安全について

この章では、GRF-1300 の操作および保存をする際に従うべき安全に関する重要な内容が含まれています。あなたの安全を確保し、最高の状態で GRF-1300 を操作、維持するためにご使用開始前に必ずお読みください。

安全記号について

以下の安全記号が本マニュアルまたは機器に記載されています。

警告

警告: ただちに人体の負傷や生命の危険につながる恐れのある状況、用法が記載されています。

注意

注意: 本器 または他の機器へ損害をもたらす恐れのある個所、用法が記載されています。

危険:高電圧の恐れあり

注意:マニュアルを参照してください

保護導体端子

アース (接地) 端子

Do not dispose electronic equipment as unsorted municipal waste. Please use a separate collection facility or contact the supplier from which this instrument was purchased.

安全上の注意事項

一般注意事項

警告

- 電源コードは、製品に付属したものを使用してください。ただし、入力電源電圧によっては付属の電源
  コードが使用できない場合があります。その場合は、適切な電源コードを使用してください。
- 感電の危険があるためケーブルの先端を信号源に接続したまま抜き差ししないでください。
- 入力端子には、製品を破損しないために最大入力が決められています。製品故障の原因となりますので定格・仕様欄または安全上の注意にある仕様を越えないようにしてください。
  周波数が高くなったり、高圧パルスによっては入力できる最大電圧が低下します。
- コネクタの接地側に危険な高電圧を決して接続しないでください。火災や感電につながります。

- 重量のある物を GSP-730 の上に置かないでください。
- 激しい衝撃または荒い取り扱いは本器 の損傷につながります。
- RF 入力への信号が+30dBm または DC 電圧が
  最大±25V を越えていないようにしてください。入力回路が破損します。
- 本器 に静電気を与えないでください。
- 端子に対応したコネクタのみを使用し、裸線は使用しないでください。
- 通気口および冷却用ファンの通気口をふさがないでください。
  製品の通気口をふさいだ状態で使用すると故障、火災の危険があります。

(測定カテゴリー) EN 61010-1:2001 は測定カテゴリーと要求事項を以下のように規定しています。GSP-730 はカテゴリー I に該当します。

- 測定カテゴリー Ⅳは定電圧設備の電源で実行する測定用です。
- 測定カテゴリーⅢは建築設備内で実行する測定用です。
- 測定カテゴリーⅡは定電圧設備に直接接続された回路上で実行する測定用です。
- 測定カテゴリー I は電源に直接接続されていない回路上で実行する測定用です。

電源

警告

- AC 入力電圧範囲:AC 100V～240V
- 周波数:50/60Hz
- 感電防止のため保護接地端子は大地アースへ必ず接続してください。

ヒューズ

警告

- ヒューズが溶断した場合、使用者がヒューズを交換することができますが、マニュアルの保守等の内容に記載された注意事項を順守し，間違いのないように交換してください。ヒューズ切れの原因が判らない場合、製品に原因があると思われる場合、あるいは製品指定のヒューズがお手元にない場合は、当社までご連絡ください。
  間違えてヒューズを交換された場合，火災の危険があります。
- ヒューズの種類: 1A/250V.

GRF-1300 の清掃

- クリーニング前に電源コードを外してください。
- 中性洗剤と水の混合液に浸した柔らかい布地を使用します。液体はスプレーしないでください。本器に液体が入らないようにしてください。
- ベンゼン、トルエン、キシレン、アセトンなど危険な材料を含む化学物質を使用しないでください。

操作環境

- 屋内で直射日光が当たらない場所、ほこりがつかない環境、ほとんど汚染のない状態 。以下の注意事項を必ず守ってください。
- 可燃性ガス内で使用しないで下さい。
- 高温になる場所で使用しないでください。
- 湿度の高い場所での使用を避けてください。
- 腐食性ガス内に設置しないで下さい。
- 風通しの悪い場所に設置しないで下さい。
- 傾いた場所、振動のある場所に置かないで下さい。
- 相対湿度: < 80%
- 高度: < 2000m
- 温度: 0℃～40°C

(汚染度) EN 61010-1:2010 は汚染度と要求事項を以下のように規定しています。GSP-930 は汚染度 2 に該当します。

汚染とは「絶縁耐力または表面抵抗を減少させる個体、液体、またはガス (イオン化ガス) の異物の添

	加」を指します。 • 汚染度 1: 汚染物質が無いか、または有っても乾燥しており、非伝導性の汚染物質のみが存在する場合。汚染は影響しない状態。 • 汚染度 2: 通常は非伝導性の汚染のみが存在する。しかし、時々結露による一時的な伝導が発生する。 • 汚染度 3: 伝導性汚染物質または結露により伝導性になり得る非伝導性物質のみが存在する。これらの状況で、機器は直射日光や風圧から保護されるが、温度や湿度は管理されない。
保存環境	• 場所:屋内 • 温度: -10℃～ 70℃ • 湿度:<70%
Disposal	Do not dispose this device as unsorted municipal waste. Please use a separate collection facility or contact the supplier from which this instrument was purchased. Please make sure discarded electrical waste is properly recycled to reduce environmental impact.

イギリス向け電源コード

When using the device in the United Kingdom, make sure the power cord meets the following safety instructions.

NOTE: This lead/appliance must only be wired by competent persons

WARNING: THIS APPLIANCE MUST BE EARTHED

IMPORTANT: The wires in this lead are coloured in accordance with the following code:

Green/ Yellow:	Earth
Blue:	Neutral
Brown:	Live (Phase)

As the colours of the wires in main leads may not correspond with the coloured marking identified in your plug/appliance, proceed as follows:

The wire which is coloured Green & Yellow must be connected to the Earth terminal marked with either the letter E, the earth symbol ⏚ or coloured Green/Green & Yellow.

The wire which is coloured Blue must be connected to the terminal which is marked with the letter N or coloured Blue or Black.

The wire which is coloured Brown must be connected to the terminal marked with the letter L or P or coloured Brown or Red.

If in doubt, consult the instructions provided with the equipment or contact the supplier.

This cable/appliance should be protected by a suitably rated and approved HBC mains fuse: refer to the rating information on the equipment and/or user instructions for details. As a guide, a cable of 0.75mm^2 should be protected by a 3A or 5A fuse. Larger conductors would normally require 13A types, depending on the connection method used.

Any exposed wiring from a cable, plug or connection that is engaged in a live socket is extremely hazardous. If a cable or plug is deemed hazardous, turn off the mains power and remove the cable, any fuses and fuse assemblies. All hazardous wiring must be immediately destroyed and replaced in accordance to the above standard.

本書について

この教科書は、RF＆通信コトレーナーGRF-1300 とスペクトラムアナライザ GSP-7303GHz を組み合わせた RF 通信教育システムとして書かれています。
詳細な例だけでなく、スペクトラム·アナライザの原理だけでなく、AM と FM 通信システムなど RF 測定するために必要な実用的な知識を提供します。

この教科書の内容を簡単に理解しできるように、できるだけ多くの写真や図表などを使用しました。

この本は、教育者用と受講者用に分かれています。すべての実験結果は、教育者用に含まれています。さらに、アスタリスク(*)の付いた章では、高度な内容の追加テキストを示します。受講者は、追加テキストを省略しても基礎を理解することに影響はりません。しかし、教育者用と受講者用教科書間でページ番号の一貫性を維持するために、受講者用の不足しているページは"メモ"としています。

初めに

GRF-1300 は、最大 900MHz のキャリア信号と 3MHz のベースバンド信号を生成することができるように設計されたトレーニングキットです。 また、GRF-1300 は、AM と FM の RF 回路実験を行うことができます。

このトレーニングキットは、最も一般的で実践的な RF コース学習と演習に適しています。GRF-1300 は、ベースバンドモジュール、RF シンセサイザ/ FM モジュールと AM モジュールの 3 つのモジュールから構成されています。ベースバンドモジュールは、正弦波、方形波や三角波を含むベースバンド信号をシミュレートすることができ、その出力周波数と振幅が調整可能です。実験中に 3 種類の波形を任意に切り替えることができ、異なる実験のそれぞれの要件を満たすことができます。

RF シンセサイザ/FM モジュールは、調整可能な周波数の生成し同様に周波数変調を実行する使用されます。このモジュールは、RF 回路理論の重点をいくつかをカバーします。これは、後の章での実証実験で取り上げられます。FM の波形は、ベースバンド モジュールと共にこのモジュールを使用しても作成できます。スペクトラムアナライザ GSP 730 は、FM 波形のさまざまな特性を観察することができます。

AM モジュールとベースバンド モジュールは、振幅変調実験を実行するために一緒に使用します。スペクトラムアナライザ GSP 730 の AM 変調波形のさまざまな特性を観察することができます。この実験システムは、USB インターフェイス経由でコンピュータに接続できます。インターフェイスは、受講生が実験を実行できるように個々の回路をオンまたはオフに使用できます。

学生は、様々な実験を通じて RF 理論の基本的な側面を学ぶことができます。RF 理論の理解をし易くするために、RF 回路を基本機能に分割して簡単にしました。これは、受講者が RF 回路の実用的な側面に関する理論と、詳細に理解できます。

このシステムは異なる機能: 信号生成、周波数変調、振幅変調、通信およびその他の機能を合体させています。個々のモジュールを組み合わせて接続し別の RF 回路の数を作成することができます。

特定の実験は、後半の章で説明します。RF & コミュニケーション トレーナ GRF-1300 は、キャリア波形でオーディオ信号を変調するように設計されています。システムは、RF 回路理論と知識から生じる困難さを考慮しています。これらの理論に焦点を当て、RF 回路の理論的側面を理解する実験を設定しています-これは RF 回路の学習に興味のある受講者にとって利点となります。

図 A-1. GRF-1300 コントロールパネル

図 A-2. スペクトラムアナライザ: GSP-730

パッケージの内容

ご購入いただきましたパッケージには、GRF-1300 本体、RF ケーブル 10cm×2 本 RF ケーブル 80cm×1 本、ユーザーマニュアル CD、教科書、アンテナ、電源コード（仕向け地による）を含みます。

項目 e	写真	番号	内容
GRF-1300		1	本体
RF ケーブル		2	100mm
RF ケーブル		1	800mm
アンテナ		1	800～1000MHz
電源コード		1	AC100～240V、50/60Hz
CD		1	ユーザーマニュアルと PC ソフトウェア
コネクタ		1	N-SMA アダプタ
教科書		1	RF 通信トレーナ

仕様と機能

機能	項目	仕様.
ベースバンド	出力波形	正弦波、方形波、三角波
	周波数範囲	0.1～3MHz（三角波：0.1～1MHz） ステップ：10kHz
	振幅	≧1.5Vpp
	高調波ひずみ	≦-30dBc
RF/FM 解析	周波数確度	±0.15MHz
	可変範囲	≧45MHz（870MHz～920MHz） Step: 1MHz
	Power Range	≧-15dBm
FM	最大周波数偏差	＞3MHz
AM	Peak Difference	≧-18dBm
通信	診断実験のために回路をリモートコマンドでオンまたはオフにしてください。	
電源電圧	AC100V～240V、50/60Hz、約 7VA	

装置を使う

手順

1. 安全のために、電源コードを正しい AC 電源に接続してください：
   AC100V～240V、50/60Hz

   電気ショックを防ぐために、アース端子が適切に接地されていることを確認してください。

2. 電源ソケットと USB ポートは背面パネルにあります。電源スイッチは上部にあります。
   デバイスの左側面。

USB ポート　電源ソケット　電源スイッチ

3. 複数のモジュールを同時に使用する場合は、適切な RF ケーブルを使用して各モジュール間を接続してください。

図 A-3. 異なるモジュール間の接続例

4. ベースバンドモジュール上の UP ボタンと DOWN ボタンは、ベースバンド信号の周波数を調整するために使用します。ベースバンドモジュールは、10kHz ステップで調整可能です。

   - *WAVE Select* ボタンは、3 種類のベースバンド波形を選択するために使用します。選択された波形に対応する LED が点灯します。
   - *Reset* ボタンは、GRF-1300 をリセットするために使用します。リセット時、GRF-1300 は、0.10MHz の正弦波のベースバンド信号と周波数は 880MHz でキャリア信号を出力します。
   - *output* ポートは、設定したバースバンド信号を出力するのに使用します。
   - 4 桁デジタル表示は、ベースバンド信号の出力周波数を表示します。
   - TP4（テストポイント 4）は、出力ポートからの出力波形のモニタに使用します。

- ポテンショメータのツマミは、出力ベースバンド信号の電圧を調整するのに使用します。時計回りで振幅を増加させ、反時計回りで振幅を減少させます。

図 A-4. ベースバンドモジュール

5. RF シンセサイザ/ FM モジュールの UP ボタンと DOWN ボタンは、キャリア（搬送波）の周波数を調整するのに使用します。キャリアは、1MHz ステップで調整することができます。

   - 4 桁のデジタル表示は、キャリア信号の周波数を表示します。
   - *FM* 入力ポートと RF / FM 出力ポートは、それぞれ FM 信号の受信とキャリア信号出力するために使用されています。
   - TP2, TP3 と TP1 は、回路の途中をモニタするために使用します。各テストポイントの位置は、図 A-7 を参照してください。

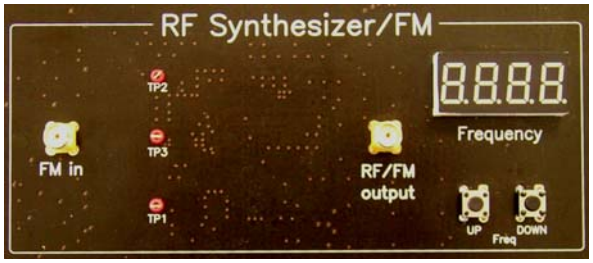


図 A-5. RF シンセサイザ/FM モジュール

6. AM モジュールは、振幅変調に使用します。AM ポートと RF ポートは、それぞれ入力変調信号の入力と、キャリア信号に使用されています。 AM 出力ポートは、AM(振幅)変調波形を出力します。

図 A-6. AM モジュール

7. パネルに 5 つのテストポイント（TP1、TP2、TP3、TP4、TP5）があります。
5 つのテストポイントが接続されたモジュールの回路経路の異なるポイントに接地されています。それらの場所は、下図に示されています。それらは、対応するリレー（B1、B2、B3、B4、B5）でオンまたはオフされます。これらのテストポイントの回路の状態をオシロスコープで判断/検出することができます。

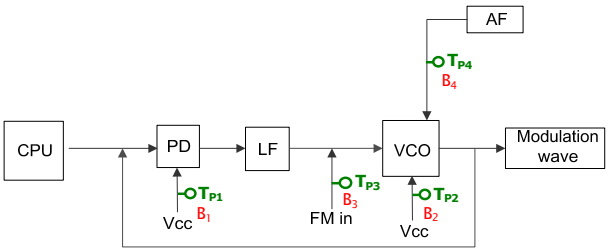


図 A-7. 各テストポイントの位置

8. PC へ GRF-1300 のドライバをインストールする。

- PC と GRF-1300 を接続します。以下は、ソフトウェアをインストールするための手順です。指定したディレクトリにインストールするソフトウェアを追加します。[次へ]をクリックし、以下に示すように、ダイアログが表示されます。

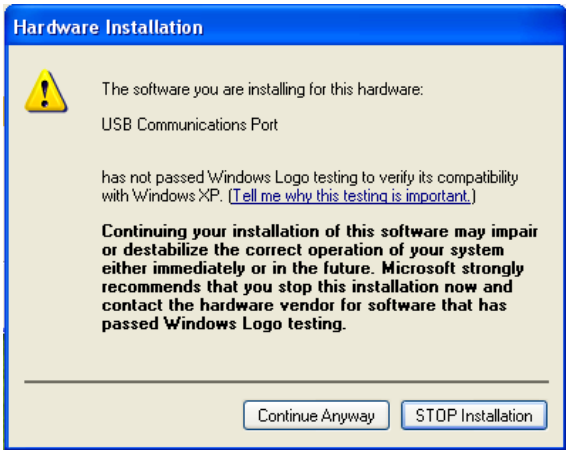


図 A-8. ソフトウェアのインストール

- 次に、インストールが完了するまでインストールを続行するには、"続行"ボタンをクリックします。

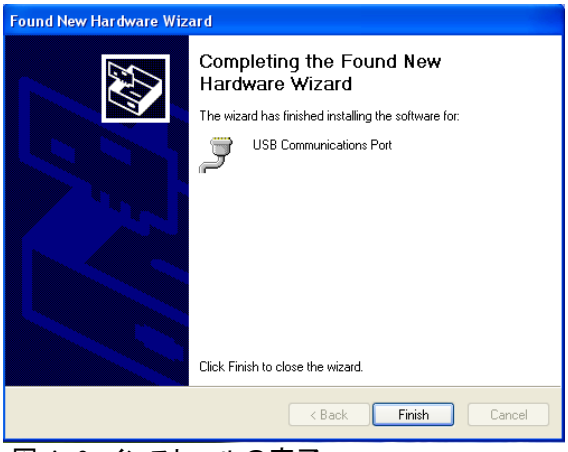
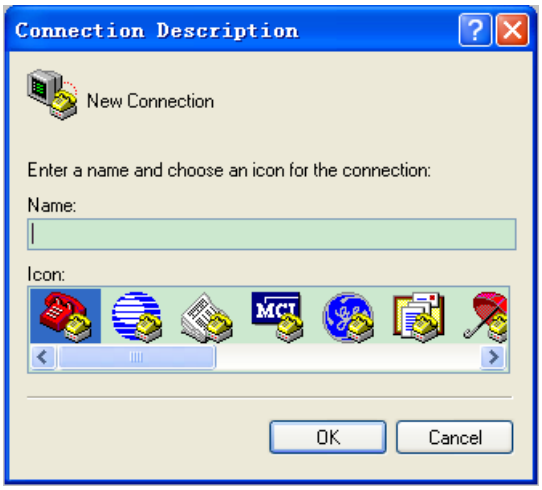


図 A-9. インストールの完了

- ソフトウェアのインストール完了後、ハイパーターミナルなどターミナルソフトウェアを使用して、GRF-1300 にコマンドを送信しシステムエラーチェックを実行することができます。



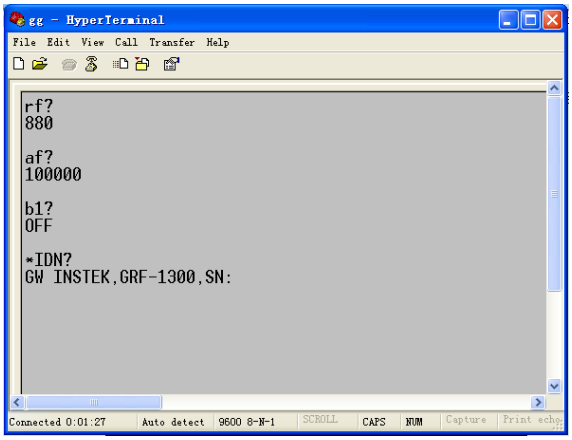


図 A-10. ハイパーターミナルの操作

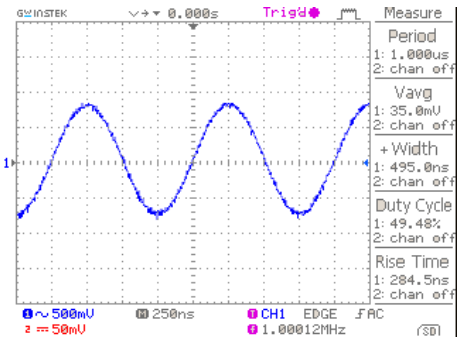
以下は各命令と各関数の説明の一覧表です。

命令	機能
*IDN?	製造者、モデル名、シリアル番号を返します。
RF?	FM/RF モジュールのデジタル表示値を返します。
AF?	ベースバンドモジュールのデジタル表示値を返します。
WAVE?	ベースバンドモジュールの波形種類を返します。
Bn? (n は、対応するテストポイントのリレー番号です。)	指定したリレーの状態(開または閉)を返します。
WAVE:0	波形を正弦波に設定します。
WAVE:1	波形を三角波に設定します。
WAVE:2	波形を方形波に設定します。
Bn:0 ('n'はリレー番号です。例: B1:0)	対応するリレー番号をオフにします。
Bn:1 ('n'はリレー番号です。例:B3:1)	対応するリレー番号をオンにします。
AF:N(N は、設定周波数)	AF 周波数を N に設定します。
RF:N(N は、設定周波数)	RF 周波数を N に設定します。

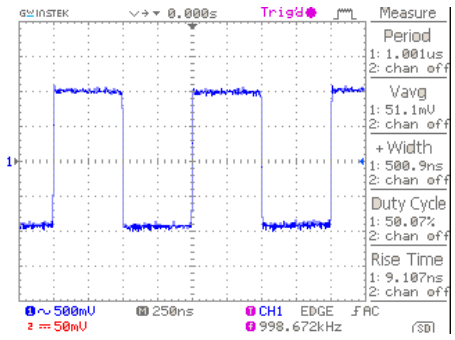
時間と周波数ドメインの概要

異なる視点からの観測

信号が時間ドメインであると、信号が時間の関数として表現されることを意味します。例えば、1μ秒((μsec, 10^{-6})で繰り返す正弦波を説明する場合、その周期は、1μ秒であることを意味します。通常、我々は時間ドメインでこれらの信号特性を測定するのにオシロスコープを使用しています。さらに、我々は方形波の立ち上がりおよび立ち下がり時間について話すとき、同様に時間ドメインでそれを観察することができます。位相遅延は、時間ドメインで測定します。オシロスコープは、時間ドメインで測定する電気信号の測定器をよく知られています。



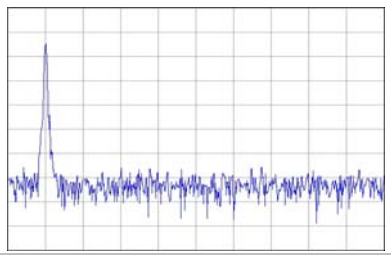
1μs 正弦波

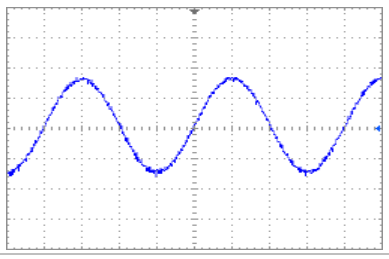


同じ周期の方形波

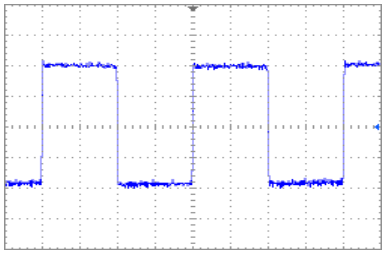
しかし、我々が正弦波と同じ振幅と周期をもつ方形波を観察する時、それらの違いを説明する方法はありますか？周波数ドメインの測定は、別の観点を提供します。まず、周波数ドメインの意味を説明します。周波数ドメインでは、信号の周波数成分を観察することを意味します。スペクトラムアナライザに1μ秒の周期を持つ正弦波信号を印加した場合、1 メガヘルツ(MHz)のスケールで信号が表示されます。私たちは、周波数が周期の逆数であることを知っています。したがって、マイクロ秒の周期の正弦波は、1MHz の周波数となります。あなたは、オシロスコープで電圧をスペクトラム･アナライザでパワー(dBm)を測定することができます。

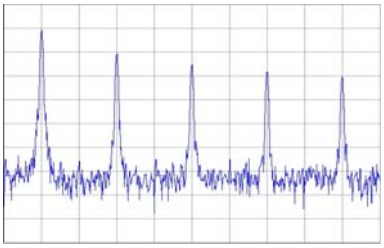
電圧と電力は、一方から他方に変換することができ、それらの両方が信号の強度を表示するために使用されます。ここでは、最初に基本的な概念について説明しています。スペクトルの各周波数ポイントは、単一周波数の正弦波(正弦波または余弦かもしれません)を表します。





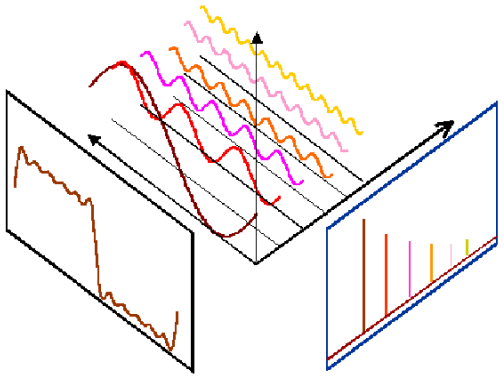
方形波はどうですか？我々は今、方形波、正弦波は、周波数ドメインで互いに異なることを説明します。スペクトラムアナライザに 1 マイクロ秒の周期を持つ方形波を入力した場合、その波形は、以下のようになる（私たちは通常、それを*スペクトル*または*周波数分布*と呼びます）。





方形波を、正弦波のスペクトルと比較した場合、我々は、1MHz の信号に加えて、他の信号点が、より高い周波数で振幅が地位あくなりながら表示されていることを観察することができます。したがって、方形波は 1MHz の基本周波数に加えて周波数の基本周波数の倍数である信号の組み合わせが含まれていることを示しています。

我々は、下の図で時間ドメインと周波数ドメインの間の古典的な関係を見ることができます。時間ドメインでの方形波信号は、複数の基本的な高調波に分解することができます。これら、高調波成分の分布は明らかに、周波数ドメインで見ることができます。周波数ドメインの解析は、別の観点から信号特性について説明できます。



時間ドメイン　　周波数ドメイン

メモ

メモ

メモ

メモ

メモ

スペクトラム·アナライザについて

スペクトラムアナライザは、RF·マイクロ波測定のための最も重要な手段の一つである。一般的にスペクトラム·アナライザに精通しているとは、高周波マイクロ波装置を動作させるため、または通信の測定を行うための非常に重要です。さらに、基本的な動作原理に精通していると、すぐに関連する他の測定機器を理解することができるようになります。この章では、簡単なスペクトラム·アナライザの基本動作原理を説明します。基本的な動作原理を理解した後、スペクトラムアナライザが使用する便利なツールであることがわかります。

放送受信機

スペクトラム·アナライザの主な機能は、入力信号の周波数を検出回路が扱うことのできる周波数(バンド)へ変換(ダウンコンバート)することです。たとえば、2.4GHz の信号は、検出・表示ユニットが信号を処理する前に、数 MHz にダウンコンバートする必要があります。したがって、スペクトラムアナライザは、数 MHz の周波数帯域に下げるように変換することができなければなりません。スペクトラムアナライザの前段は、高周波モジュールと呼ばれ、その目的は、入力信号の周波数を落とすることです。ミキサと帯域通過フィルタは、周波数を下げるのに使用されます(同様に周波数を上げることができる)。ミキサは、3 つのポート(2 つの入力と 1 つの出力)を持つコンポーネントです。

入力ポートの 2 つの入力周波数は、それぞれの f_{RF} とf_{LO} で、出力周波数は f_{IF} になることを前提としています。f_{IF} は、同時に出力ポートに現れる 2 信号の差周波数($f_{LO}-f_{RF}$ と $f_{LO} + f_{RF}$)で作られています。

1 つの信号は、入力信号の和であり、他は差です。

使用する IF 信号決めることは、システムとそれに続くバンドパスフィルタ設計に左右されます。RF:Radio Frequency、LO:Loacl Oscillator、IF:Intermediate Frequency

Determining which of the IF signals that will be used depends on the system and subsequent bandpass filter design. As for why the three ports are named after RF, LO, IF, they are just the conventional terms that are used.

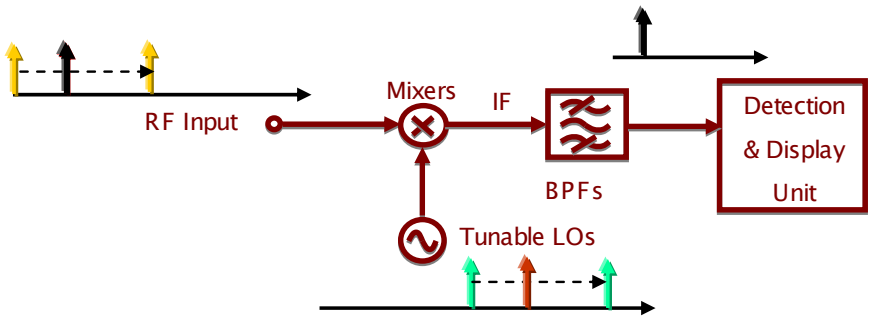


図 B-1. 放送受信機の基本構造

次に、スペクトラムアナライザの他の基本的な機能ブロックを紹介します。これらのブロックは、スペクトラム アナライザの使用方法についての指導する場合しばしば言されます。

アッテネータ(減衰器)

RF 入力経路上のアッテネータ(減衰器)は、入力信号レベルのダイナミック レンジを増加またはスペクトラムアナライザの入力保護を向上させることができます。図 B 2 を参照すると、このアッテネータ は、ミキサ(RF エンド)に入る信号を制限し 特定のレベルにします。入力信号がリファレンスレベルを越えた場合は、測定誤差の原因やスプリアス ノイズが発生します。

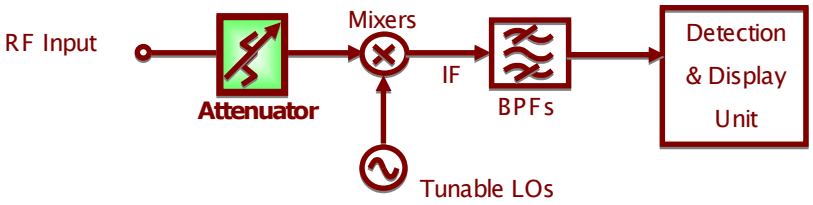


Figure B-2. **アッテネータ**

分解能帯域幅(RBW:Resolution Bandwidth Filter)

入力信号の周波数は IF に変換される場合、RBW (分解能帯域幅) フィルタは、お互いに近い周波数の信号を区別するために使用されます。
図 B 3 は、この概念を示しています。

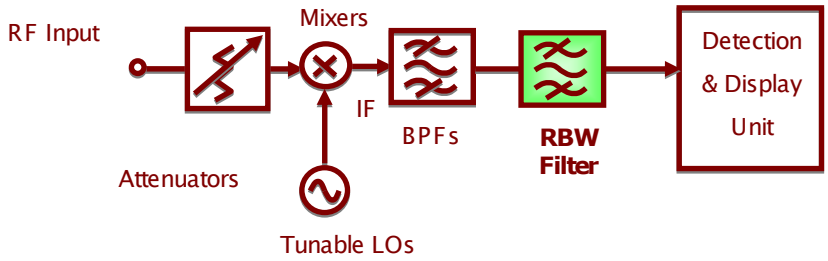


図 B-3.分解能帯域幅フィルタの基本構造

図 B-4 は、2 つの異なる RBW フィルタが周波数で互いに近い位置にある周波数から 2 つの区別する方法を示しています。RBW2 の帯域幅は、RBW1 よりも広い。

二つの異なる RBW フィルタの周波数で互いに近い位置にある二つの信号を区別する方法 B-4 を示しています。 RBW2 の帯域幅は RBW1 その広くなっています。

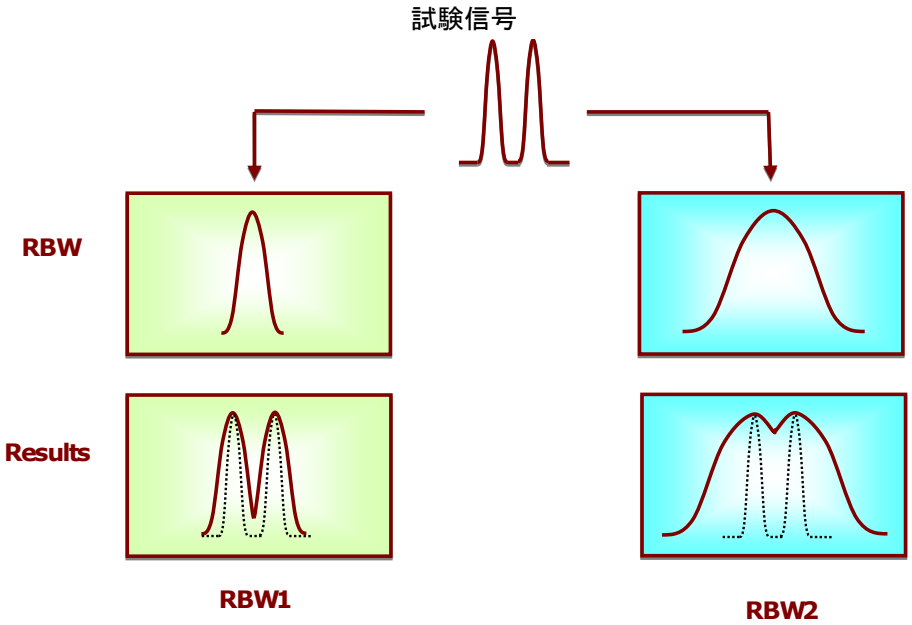


図 B-4. 異なる RBW が及ぼす影響(1)

帯域幅の狭い RBW1 フィルタを通過した後、2 トーン信号の成分は、結果として互いに明確に区別されます。しかし、帯域幅の広い RBW2 フィルタでは、結果は RBW1 のように明確ではなく、ただ一つの信号として誤解することが予測されます。これらの 2 つの信号の周波数が十分に近づいている場合にも発生します。

別の例は、1 つの信号の振幅が他よりもはるかに高い場合です。振幅の小さな信号は、帯域幅の狭い RBW1 を使用すれば検出することができますが、帯域幅の広い RBW2 を使用した場合、小さな信号は隠されてしまいます。図 B-5 は、この違いを示しています。これらのフィルタが、分解能帯域幅フィルタとして知られている理由はここにあります。

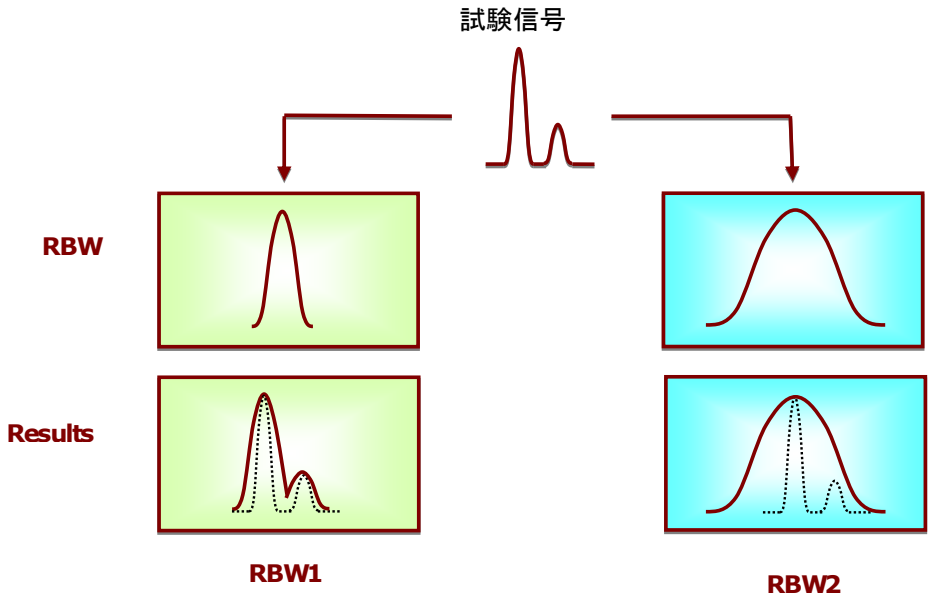


Figure B-5. 異なる RBW の影響 (2)

検出器

RBW フィルタの続く検出器は、電力を検出し表示できるように ADC を介して DC 電圧に変換します。

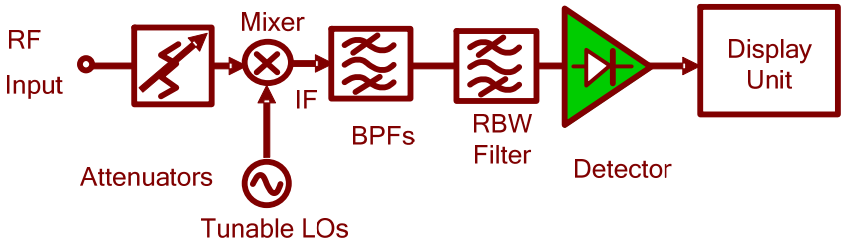


図 B-6. 検出器

ビデオ帯域フィルタ

ビデオ帯域フィルタは、検出器によって生成されるノイズを除去するための検出器の後に採用されています。B-7 図に示すように、これは、VBW(ビデオ帯域幅)フィルタの機能です。

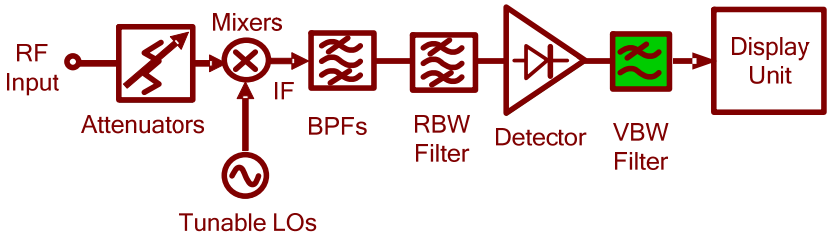


図 B-7. VBW フィルタ

図 B-8 は、VBW が表示される出力に影響を与えることを示しています。被試験信号が VBW1 と VBW2 より狭い 2 つの異なる VBW フィルタを通過すると、VBW2 のノイズフロアの大きさは VBW1 におけるノイズフロアより大きいことがわかります。しかし、ノイズフロアの平均レベルは同じままであることがわかります。VBW フィルタは、ノイズレベルのみを平均し、信号のノイズフロアの全体の振幅には影響を与えません。

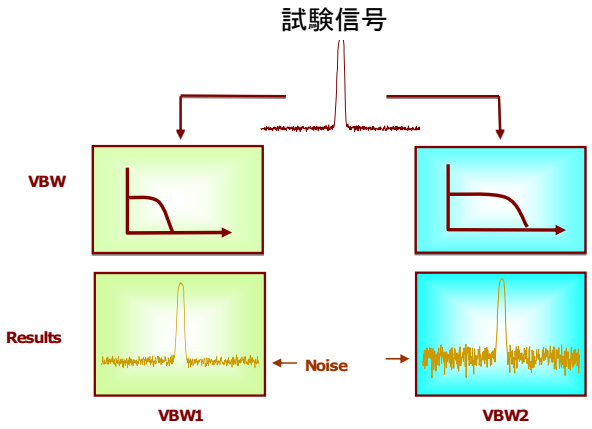


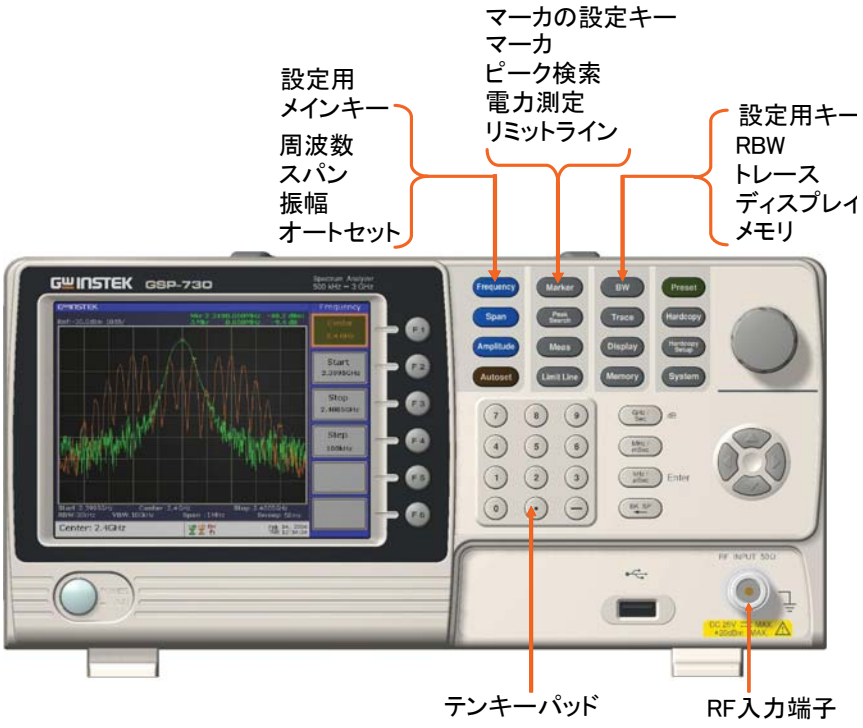
図 B-8. 異なる VBW フィルタの特性

メモ

メモ

RF 通信と信号実験

この章では、スペクトラムアナライザの基本的な操作を説明し、測定実験の説明をします。これに先立ち、簡単にスペクトラム·アナライザ（GW Instek GSP-730）を操作する方法について説明をします。操作に関する詳細については、GSP-730 のユーザーマニュアルを参照してください。



学習 1:スペクトラムアナライザの基本操作

関連情報

空、海や森林に加えて、私たちの生活環境では、目に見えない無形の、聞き取れない、複雑な電磁ネットワークがあります。このネットワークは、様々な周波数帯の無線信号と絡み合っています。これらの信号は目に見えなませんが、スペクトラムアナライザを使用すれば、これらの無線信号を理解し、分析することができます。
この学習では、スペクトラムアナライザ GSP-730 を教室内のいくつかの無線信号を捕捉するために使用します。この学習は、RF 信号の分野でスペクトラムアナライザの使用方法に精通し受講者の好奇心を喚起するのに役立ちます。

学習装置

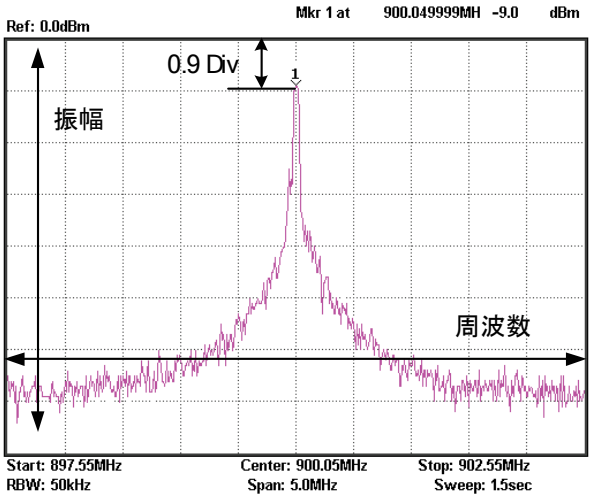
項目	装置	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP
2	アダプタ	1	N-SMA
3	アンテナ	1	800

学習の目標

スペクトラムアナライザ GSP-730 の使い方と、周波数、振幅、マーカなどのパラメータ設定を使用する使用方法に慣れる。

原理

スペクトラムアナライザは、主に信号の周波数と振幅などの物理量を測定するために使用されています。基本的な操作については、先ず周波数範囲を設定し、リファレンスレベルの振幅を設定する必要があります。



上の図は、代表的なスペクトラムアナライザの画面です。水平軸の設定は、周波数、縦軸は振幅です。したがって、スペクトラムアナライザは、基本的には周波数と振幅に関連した測定を実行するために使用されます。周波数、振幅、他のファンクションキーとキーパッドを使用して周波数、振幅、および他の機能を制御し、スペクトラムアナライザを操作します。

周波数、振幅、スパンとキーパッドと単位キー

周波数を設定するには、2 つの方法があります。測定したい信号の周波数がわかっている場合は、センタ周波数とスパン機能を使用して周波数を設定することができます。周波数範囲で測定する必要がある場合は、スタートとストップ周波数を設定することができます。

実験内容

この環境で電波をテストするためにスペクトラムアナライザ GSP-730 にアンテナを接続してください。

実験の手順

1. スペクトラムアナライザ GSP-730 にアンテナを接続します。

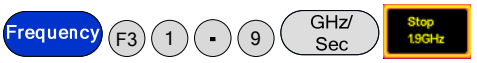
携帯電話の発信機信号の強さを測定してください。

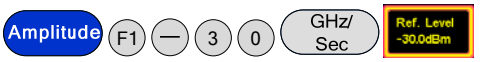
携帯電話の周波数帯が 800MHz ～2000MHz 帯まで幅広くあるので、スペクトラムアナライザの周波数を 800MHzから 2000MHzに設定します。

2. Set the GSP-730 を次のように設定します。

- スタート周波数：800MHz,
  ストップ周波数：2000MHz
- リファレンスレベル：-30dBm
- RBW（RBW）：Auto

ステップ 1

ステップ 2 

ステップ 3 

ステップ 4

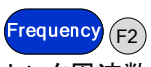
3. 携帯電話で通話をするとスペクトラムアナライザのどこかに信号が表示されますのでその周波数を記録してください。リファレンスレベルは、信号強度に合わせて調整してください。
   携帯会社により周波数が異なります。

携帯電話で使用されている周波数ホッピングは、ピークホールド機能を使用することで画面上の信号の観測することができます。信号の周波数および振幅を記録してください。
周波数ホッピング（Frequency-Hopping、FH）は、周波数を一定の規則に従って切り替え、送受信機間で通信を行うスペクトラム拡散の一つの方式です。周波数ホッピングスペクトラム拡散（Frequency Hopping Spread Spectrum、FHSS）とも言う。

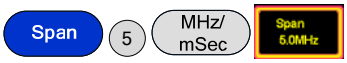
ステップ 5

早稲田

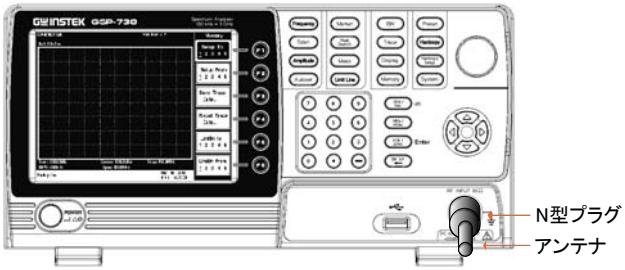
4. スパンを 5MHz に変更してください。上記 3 ポイントの周波数ポイントにセンタ周波数を設定し各々をより正確に観察することができるようにしてください。表 1-1 に、この 3 つの周波数ポイントを記録してください。

ステップ 6 

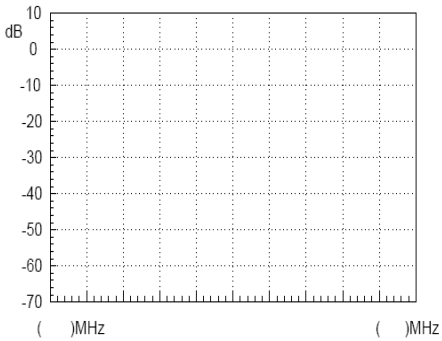
センタ周波数を 3 つの周波数ポイントに設定してください。

ステップ 7 

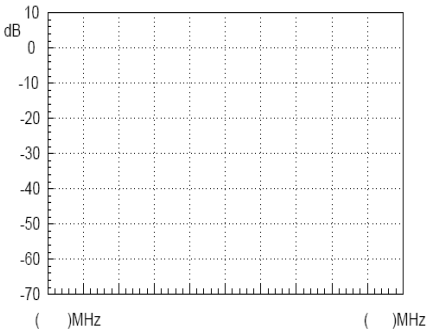
5. 無線信号を下図の方法（アンテナを使用）で測定します。
鉄筋の建物など環境により電波がないか非常に小さい場合があります。



測定結果



周波数: _____ 振幅 : _____



周波数: _____ 振幅 : _____

表 1-1: 携帯電話の発信周波数および振幅。

質問 携帯電話信号の他に、なにか無線通信の信号を現在の環境で測定することができますか。

学習 2: ベースバンド波形の測定

関連情報

オシロスコープに比べて、スペクトラムアナライザは、多くの優れた利点を持っています。また、スペクトラムアナライザは、周波数ドメインのデータを測定するための主要な測定ツールです。スペクトラムアナライザの使用方法を学習することは、RF の知識を習得しるためには必要不可欠なスキルです。

この学習は、ベースバンド信号の測定をすることで総合的にスペクトラムアナライザの操作方法を理解することができ、その後の学習を進展させるための基礎となります。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300
3	RF ケーブル	1	800mm
4	アダプタ	1	N-SMA

学習の目標

1. ベース信号の測定と解析
2. ベースバンド信号を出力する GRF-1300 システムを使用する方法を理解する。

原理

GRF-1300 を 1MHz の正弦波形を出力するように設定します。GSP-730 を使用してそのスペクトルを測定します。スペクトラムアナライザの動作原理は、前章で説明しました。そのため、ここではその説明は省略します。

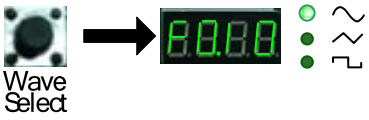
学習の内容

1MHz の正弦波を設定し、そのスペクトルを測定します。さらに、各高調波周波数の高調波比を測定します。

実験の手順

1. GRF-1300 と GSP-730 の電源をオンします。
2. GRF-1300 のベースバンド信号を設定します。
   - 波形:正弦波
   - 周波数:1MHz.
   - 振幅ツマミを時計回りいっぱいに回します。

ステップ 1



ステップ 2

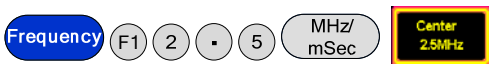
ステップ 3

3. RF ケーブルを使用して GRF-1300 の出力ポートから GSP-730 の入力端子

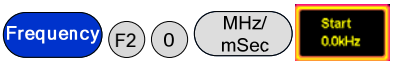
にベースバンド信号を接続します。

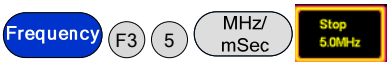
4. GSP-730 を次のように設定します：

- センタ周波数：2.5MHz
- スタート周波数：0kHz,
  ストップ周波数：5MHz
- リファレンスレベル：10dBm
- RBW：Auto

ステップ 1 

最初のステップが完了したら、ステップ 2 と 3（下）は、すでに自動的に設定されています。ステップ 2 と 3 は、参考です。

ステップ 2 

ステップ 3 

ステップ 4

ステップ 5

5. スペクトラム·アナライザのマーカ機能を使用し高調波比を測定し、表 2-1 にスペクトルを描画します。

ステップ 6

ステップ 6 が終了したら、次にノーマルマーカではなくデルタマーカを使用します。各高調波のピーク点にデルタ·マーカを移動し、表 2-1 にスペクトルの簡単なスケッチを描きます。

ステップ 7

ステップ 8

6. ファンクション信号発生器でも、上記の測定の信号源として使用できますが、出力信号の振幅が大きく出せるため、使用する場合には出力レベルに注意してください。

dBmは、1mWに対する電力単位です。式は X dBm = 10*log(Px/1mW)

10mWを上の式に代入すると
10 * log (10/1) = 10 * 1 = 10dBm
同様に 100mWの場合、X = 10 * log (100mW/1mW) = 10 * 2 = 20dBm.となります。

信号発生器の出力電圧は、多くの場合 50Ω負荷電圧字の電圧で表されるために、電圧を電力に変換する必要があります。いくつかの代表的な値は以下のようになります。

電圧を dBm に変換する:(50Ω負荷時)

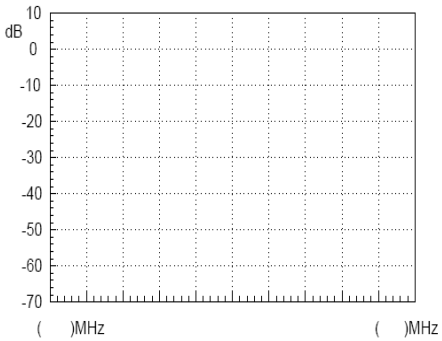
Vpp (V)	Vm (V)	Vrms (V)	P (mW)	dBm
10.00	5.00	3.54	250.00	23.98
5.00	2.50	1.77	62.50	17.96
2.00	1.00	0.71	10.00	10.00
1.00	0.50	0.35	2.50	3.98

dBm を電圧に変換: (50Ω負荷時)

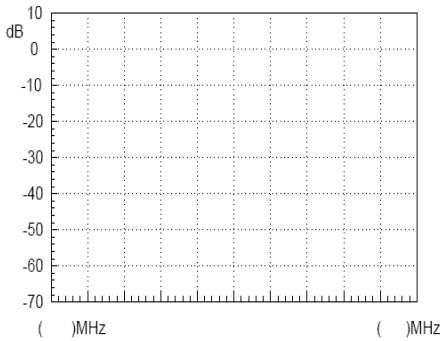
dBm	P (mW)	Vrms (V)	Vm (V)	Vpp (V)
20.00	100.00	2.24	3.16	6.32
10.00	10.00	0.71	1.00	2.00
0.00	1.00	0.22	0.32	0.63
−10.00	0.10	0.07	0.10	0.20

電圧を 50Ω負荷なしのオシロスコープで測定した場合は、VPP と Vm の値は 2 倍する必要があります。例えば、無ふかに測定値が 4Vpp の場合、50Ω負荷時には 2Vpp または、または変換後 10dBm です。

学習結果



第 2 高調波比:



第 3 次高調波比:

表 2-1. 1MHz 正弦波の測定結果

質問

1. 理論上、正弦波のスペクトルはどのようになりますか？また、なぜそれは実際の測定結果と異なりますか？

2. 分析した信号の周波数ドメインの特徴は、何ですか？

注意

1. 出力電力は、スペクトラムアナライザの定格入力を絶対超えてはいけません。入力電力が定格電力を超えた場合、スペクトラムアナライザの入力が損傷されます。

2. RF ケーブルを接続で使用する場合にはは、必ずコネクタを締めてください。

学習 3:異なるベースバンドの波形とその高調波測定

関連情報

本章では、受講者が既に一般的な電気信号を理解していてオシロスコープで波形の振幅を観察するために使用したことがあるとして説明します。言い換えれば、オシロスコープは、電気信号 X(t)の時間の経過を観察するために使用されている。しかし、我々は学習しようとしていることは、信号を測定するための方法が異なります。たとえば、アンプ、フィルタ、ミキサを分析するとき、私たちはもはや時間に関連する機能を測定ではなく、周波数で特徴ずけることができる応答関数に関心があります。

この学習では、多くの場合、周波数ドメインで信号を解析すると時間ドメインで信号を解析に比べて多くの利点を持っていることがわかります。また、時間ドメインと周波数ドメインの間に関係があることに気づくでしょう、したがって、フーリエ級数の背景にある理論を理解できます。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300
3	オシロスコープ	1	GDS-1152A
4	RF ケーブル	1	800mm
5	アダプタ	1	N-SMA

学習の目標

ベースバンド信号から出力される高調波成分を測定します。

フーリエ級数定理を確認するために測定結果を使用します。

1. 信号の時間ドメイン信号と周波数ドメイン間の内部関係を理解します。
2. このような振幅や周波数などの典型的な信号のスペクトル特性を測定する方法をこの学習で精通します。

原理

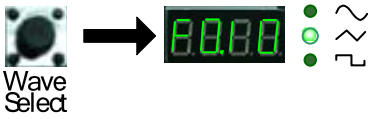
GRF-1300 の波形を設定し、高調波スペクトルを測定します。さらに、別の波形に切り替えて、高調波スペクトルを測定しその違いを比較します。時間ドメインと周波数ドメインの関係は、すでに第 3 章で学習したのでその説明は省略します。

実験の目的

単純な三角形と矩形波の信号スペクトルを分析することにより GRF-1300 を使用方法とスペクトラムアナライザの使用方法になれていきます。

実験手順

1. GRF-1300 と GSP-730 の電源をオンします。
2. 次のように GRF-1300 を設定します:
   - 波形:三角波
   - 周波数:1MHz.
   - 振幅ツマミを時計回り一杯にします。

ステップ 1 

ステップ 2

ステップ 3

3. RF ケーブルを使用して GRF-1300 の出力ポートから GSP-730 の入力端子にベースバンド信号を接続します。

4. GSP-730 を次のように設定します:

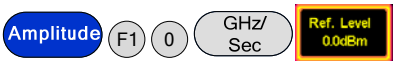
- センタ周波数: 15MHz

スタート周波数: 0kHz,
ストップ周波数: 30MHz、スパン:30MHz

- リファレンスレベル: 0dBm
- RBW:Auto

ステップ 1

ステップ 2

ステップ 3 

ステップ 4

5. 表示されるスペクトルを観察します。スペクトラム·アナライザのマーカ機能を使用して高調波比を測定し、表 3-1 にスペクトルを描画します。

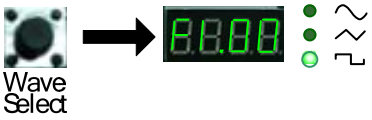
ステップ 5

ステップ 4 が終了した後、次のステップではノーマルマーカではなくデルタマーカを使用します。各高調波のピーク点にデルタ·マーカを設定し、表 3-1 のスペクトルの簡単なスケッチを描きます。

ステップ 6

ステップ 7

6. GRF-1300 のベースバンドモジュールで方形波を選択します。前のステップで行ったのと同じスペクトル測定を行います。

ステップ 8 

7. スペクトラムアナライザに表示された方形波のスペクトルを観察します。マーカ機能を使用して高調波比を記録し、表 3-3 にペクトルを描画してください。方形波スペクトルのスペクトルを以前に三角波で行ったように描画してください。もともとは三角波で使用したデルタマーカ(△-マーカ)を消すことを忘れないでください。

ステップ 9

表 3-3 のスペクトログラムを描いた後、以下のステップで、各高調波の高調波比を測定します:

ステップ 10

ステップ 11

高調波比を測定するために上記で使用された方法に従たがい、高次の高調波比を測定することができます。

8. スペクトルを測定した後、モジュールの出力ポートをオシロスコープの入力端子に接続し、三角波、方形波を時間ドメインで測定し、表 3-2 と表 3-4 に結果を記録します。

学習結果

1. 以下の表に、三角形、方形波の両方の時間ドメインの波形と周波数ドメインのスペクトラムの測定結果を記録します。

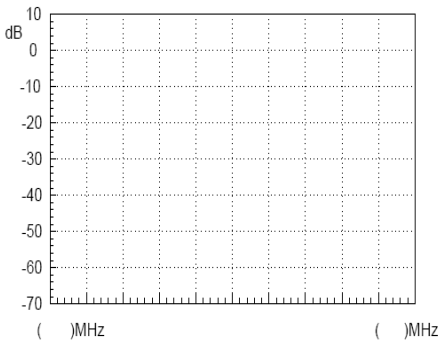


Table 3-1.
1MHz 三角波のスペクトラム観測結果

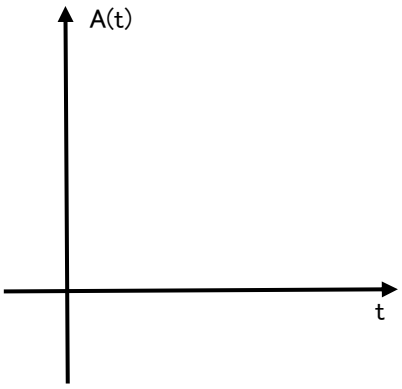


Table 3-2.
1MHz 三角波の時間ドメイン波形

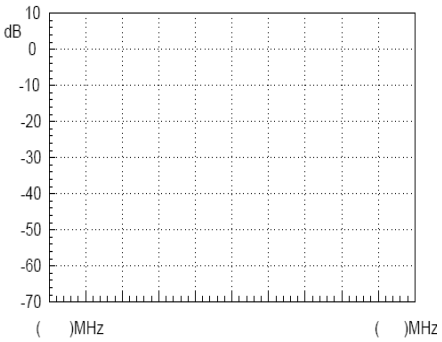


表 3-3.
1MHz 方形波スペクトラムの観測波形

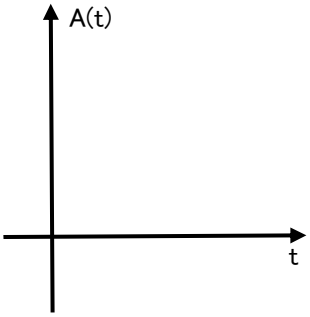
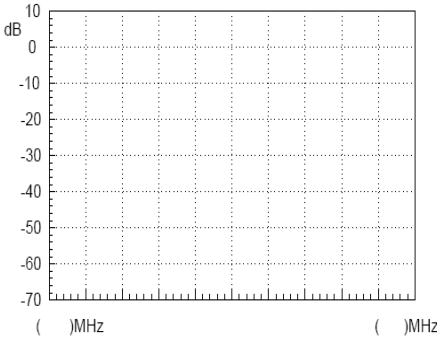
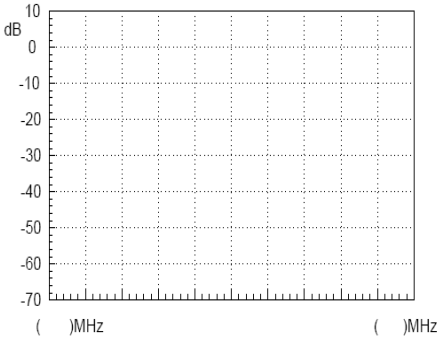


表 3-4.
1MHz 方形波の時間ドメイン波形

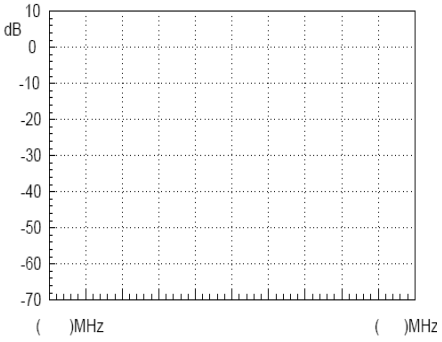
2. 三角形の、第 3 および第 5 高調波の高調波比を測定します。方形波の場合、第 2 と第 3 高調波の高調波比を測定します。



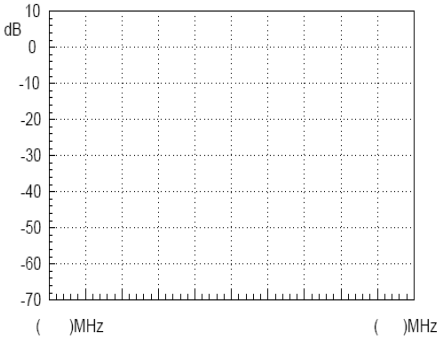
第 3 高調波の高調波比(三角波)



第 5 高調波の高調波比(三角波)



第 2 高調波の高調波比(方形波)



第 3 高調波の高調波比(方形波)

質問

1. 周波数ドメインと時間ドメインの測定結果を比較し、フーリエ級数の理論との関係を考察してください。

2. 三角形および矩形波スペクトル間の差を分析してください。それらのフーリエ級数を三角関数の形で書いてください。各高調波と各用語の間でシリーズにどの関係があるか考察してください。

注意

スペクトラムアナライザ上でセンタ周波数を設定する異なる方法があります。必要に応じて設定してください。

学習 4:RF キャリアの測定

関連情報

通信システムでは、RF 信号は、一般的にキャリア信号を使用しています。低周波信号は、簡単には空気を介して非常に遠くに送信することはできませんので、低周波のメッセージ(音声など)は、アンテナを使用して長距離を送信するために、より高い周波数の信号にする必要があります。この高周波信号は、メッセージを運ぶため、キャリアと呼ばれています。この学習では、RF 信号の基本的な測定と、位相ノイズと高調波歪みなどの重要なパラメータを測定します。

この学習システムのキャリア信号は、PLL(Phase Locked Loop)によって生成されます。PLL は、フェーズロックレシーバや位相ロック周波数変調/復調のために広く使用されています。また、多くの場合、送信器と受信機の局部発振器として使用されています。RF 回路を学ぶとき、PLL 回路の動作原理を詳細に学習する必要があります。
この学習実験では、キャリア周波数スペクトルを測定することで高周波信号を理解することができます。また、PLL 回路の基本的な構造を認識することができます。以下の実験では、さらにフェーズロックループのロックとアンロックの条件についても検討します。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300
3	RF ケーブル	1	800mm
4	アダプタ	1	N-SMA

実験の目標

GRF-1300 RF 通信トレーナの RF 信号を測定します。また、位相ノイズと高調波歪みなどのより重要なパラメータの測定をします。

実験の原理

フェーズロックループ(PLL:Phase locked loop)は、位相誤差制御システムです。基準信号と出力周波数を同期するように、電圧制御発振器(VCO:voltage-controlled oscillator)の出力周波数を調整するための位相誤差電圧を生成するように基準信号と出力信号間の位相を比較します。その基本的な回路構造を図 4-1 に示します。

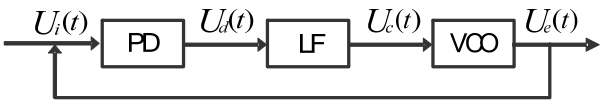


図 4-1. PLL 回路構成

上の PD はフェーズロックループの検出器、LF はループフィルタで VCO は電圧制御発振器です。

VCO からの出力信号の純度は、直接位相ノイズに関連します。出力信号の歪みと高調波成分とノイズを低くします。位相ノイズは、通常 dBc のセンタ周波数との関係から dB で計算された周波数オフセット値で、dBc / Hz で指定されています。発振器の位相ノイズは 1Hz の帯域幅で発生するノイズに正規化されています。

位相ノノイズは、通常、下の式を使って計算されて、fm はキャリアから単一の側波帯の周波数で、PssB は、測定された側波帯パワーです:

$$L(f_m) = (P_{ssB} - P_0) - \log B + 2.5$$

$B = 1.2RBW$ (RBW は、分解能帯域幅です)

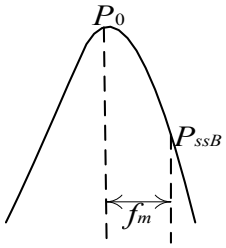


図 4-2. 位相ノイズの定義

発振器が非線形成分であると、より高い高調波成分を生成します。高調波歪みは、RF 信号の重要な因子である。一般的に、これをフィルタ処理するためのフィルタを使用しています。

実験内容

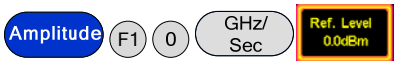
1. RF 信号のスペクトラムを測定します。
2. RF 信号の高調波歪みを測定します。
3. RF 信号の位相ノイズを測定します。

学習の手順

RF 信号のスペクトラムと高調波歪みを測定します

1. GRF-1300 と GSP-730 の電源をオンにします。GRF-1300 の電源をオンの状態のままにしておきます。
2. RF ケーブルで GSP-730 の入力端子と GRF-1300 の FM/ RF 出力ポートを接続します。
3. GSP-730 を次のように設定します:
   - スパン:フルスパン
   - リファレンスレベル: 0dBm
   - RBW:Auto

ステップ 1

ステップ 2 

ステップ 3

4. 観測しているスペクトルは、各周波数点の振幅を測定するためにマーカ機能を使用します。Next Peak 機能は、連続する各ピークを見つけるために使用することができます。表 4-1 に結果をプロットしてください。

ステップ 4

ステップ 5

5. 表 4-1 の結果を描画してください。各高調波の高調波比は、次のステップに従って測定することができます。

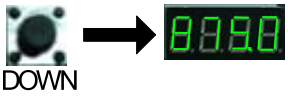
ステップ 6 Marker F3 Mode Normal Delta 1 . 7 6 GHz/ Sec

ステップ 7 Marker F3 Mode Normal Delta 2 . 6 4 GHz/ Sec

最後の 2 つのステップについては、スパンが非常に大きくなり、若干の誤差が生じることがあります。第 2 と第 3 高調波を見つけるには、周波数を微調整する必要があります。表 4-2 に結果を記録してください。

RF 位相ノイズの測定

1. GRF-1300 と GSP-730 の電源をオンします。
2. RF シンセサイザ/FM を次の通り設定します:
   - キャリア周波数:875MHz

ステップ 1  DOWN

3. GSP-730 の入力端子に GRF-1300 の FM/ RF 出力ポートから RF ケーブルを接続します。

4. GSP-730 を次のように設定します:
   - センタ周波数:875MHz
   - スパン:1MHz
   - リファレンスレベル: 0dBm
   - RBW: Auto (初期設定は 50kHz)

ステップ 1 Frequency F1 8 7 5 MHz/ mSec Center 875.0MHz

ステップ 2 Span F1 1 MHz/ mSec Span 1.0MHz

ステップ 3 Amplitude F1 0 GHz/ Sec Ref. Level 0.0dBm

ステップ 4 BW F1 RBW Auto Man

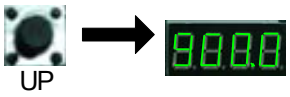
ステップ 5 Peak Search

5. キャリアの電力を記録します。FM 搬送波周波数 fm の偏差を 100kHz(△)に設定します。△の値をスペクトラム·アナライザのデルタマーカ機能を使用して測定します。

ステップ 6

値を記録し、次式に従って位相ノイズを計算し、表 4-3 のスペクトルと測定結果を記録してください。

6. PLL 出力周波数を 900MHz に調整し、再び周波数に対応する電力と位相ノイズを測定します。

ステップ 7 

ステップ 8

ステップ 9

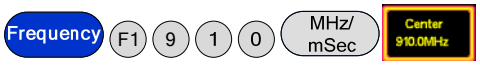
キャリア電力を記録します。偏差(△)100kHz にキャリア周波数 fm の偏移を設定します。スペクトラム·アナライザのデルタ·マーカ機能を使用い△値を測定します。

ステップ 10

値を記録し、次式に従って位相ノイズを計算し、表 4-3 のスペクトルと測定結果を記録してください。

7. PLL 出力周波数を 910MHz に調整し、再び周波数に対応するパワーと位相ノイズを測定します。

ステップ 11

ステップ 12 

ステップ 13

キャリア電力を記録します。偏差(△)100kHz にキャリア周波数 fm の偏移を設定します。スペクトラム·アナライザのデルタ·マーカ機能を使用い△値を測定します。

ステップ 14

値を記録し、次式に従って位相ノイズを計算し、表 4-3 のスペクトルと測定結結果を記録してください。

実験結果 1. RF 信号のスペクトラムを測定する。

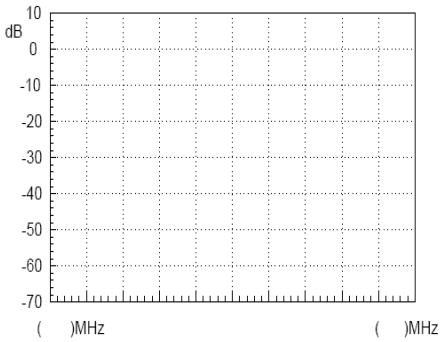
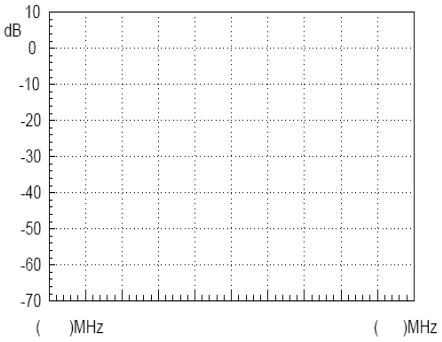
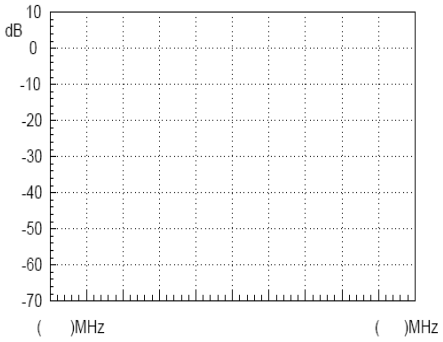


表 4-1. RF 信号のスペクトラム

2. RF 信号の高調波測定



第 2 高調波測定

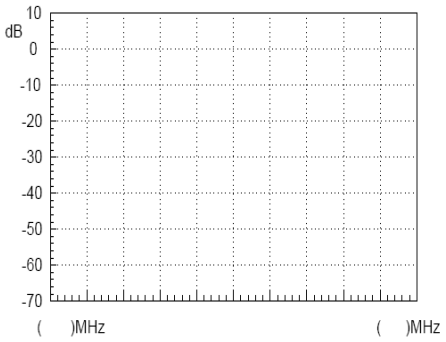
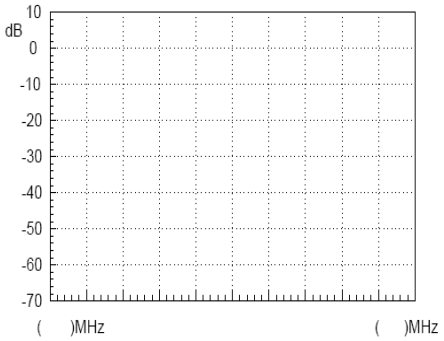
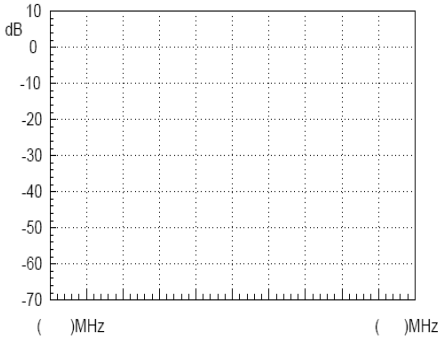


第 3 高調波測定

表 4-2. RF 信号スペクトラム

3. 位相ノイズの測定結果

表 4-3. 位相ノイズ測定の結果

キャリア電力	実験結果
875MHz	 キャリア周波数:_____ 出力電力::_____ 位相ノイズ:_____
900MHz	 キャリア周波数:_____ 出力電力::_____ 位相ノイズ:_____
910MHz	 キャリア周波数:_____ 出力電力::_____ 位相ノイズ:_____

質問

1. PLL 回路はどのようなブロックで形成されていますか？
   各ブロックの機能を説明してください。

2. PLL の利点は何ですか？

3. 位相ノイズの原因を説明してください。
   どのように位相ノイズを改善しますか。

注意

RF ケーブルを接続するときはコネクタをしっかり締めてください。

メモ

メモ

メモ

メモ

学習 5： AM 信号の測定

関連情報

音声信号は、通常低周波です。一般に、このような低い周波数の信号は、伝送には適していません。したがって、通信とテストシステムで音声を送信するには変調する必要があります。変調とは、信号伝送で使用される信号調整の方法です。それは低周波信号を適切な周波数の信号で情報を伝送するように変調するために使われます。
変調は、微弱な信号の増幅および伝送に関連する問題を解決するために使用されています。RF 通信システムにおける変調の役割は不可欠です。変調は、元の低周波信号を変調し伝達をするだけでなく、周波数分割多重（FDM）のために使用されます。
同じ周波数範囲の信号が同時に同じチャネル上で送信される場合は、それらは簡単に互いに干渉します。そのため、複数の信号を同時に送信することができるように、異なるキャリアに変調します。実験は、振幅変調（AM 変調）から始めます。
AM 信号の特性を測定するためにスペクトラムアナライザを使用されます。AM 変調の原理および特性と同様に FM 変調を習得するために重要な意味を持っています。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	Spectrum analyzer	1	GSP-730
2	RF & Communication Trainer	1	GRF-1300
3	RF ケーブル	2	100mm
4	RF ケーブル	1	800mm
5	アダプタ	1	N-SMA

実験の目標

振幅変調の動作原理を学習します。
RF 信号の AM 特性を測定するためにスペクトラムアナライザを使用します。

実験の原理

変調は、低い周波信号を高い周波数へ移動し、高い周波数で信号を送信するプロセスです。通常、元の情報を運ぶ低い周波数の信号は、変調信号またはベースバンド信号と呼ばれています。高い周波数の信号は、キャリア（搬送）波信号として知られています。キャリア信号は、変調信号によって変調された信号は変調波と呼ばれています。変調方式には、AM、FM および位相変調の 3 種類があります。

この学習は、いくつかの変調理論を学ぶために AM 変調から始めます。AM 変調は、高周波のキャリア信号の振幅を変調信号で制御しています。変調信号は、変調信号の振幅に比例してキャリア波の振幅を変化させるために使用されています。振幅変調された高周波のキャリア波信号は、AM（Amplitude Modulation）波と呼ばれています。AM 波は、両側波帯と単側波帯に一般的な AM 変調、抑圧キャリア波の両側波帯、抑圧キャリア波の単側波に分ける事ができます。
変調された波形を表現する式は次のとおりです：

変調信号が単一周波数の正弦波であると仮定すると（$\Omega=2\pi f_{\Omega}$）

と
$u\Omega(t) = U\Omega m \cos\Omega t = U\Omega m \cos 2\pi f\Omega t$ (5.1)
次にキャリア信号は、
$uc(t) = Ucm \cos\omega c t = Ucm \cos 2\pi fc t$ (5.2)

AM 波の振幅が変調信号に比例した振幅変調した後、キャリア周波数は変わりません。したがって、変調波は以下のように表すことができます。

$u_{AM}(t) = U_{AM}(t)\cos\omega c\ t = U\mathrm{cm}(1+m_a\cos\Omega t)\ \cos\omega c\ t$ (5.3)

分析を簡素化するために、両方の波形の初期位相角をゼロに設定します。
式(5.3)において m_a は、AM 変調度または AM 変調指数として知られています。

つまり、$m_a = \dfrac{k_a U_{\Omega m}}{U_{cm}}$

この方程式は、キャリア振幅がどのくらい変調信号によって制御されるかを表しています。
乗数 ka は、変調回路によって決められた比例定数です。
AM 変調指数は、1 以下であるべきです。
AM 変調指数が 1 以上の場合、それは過変調と言われ、変調信号が歪みます。

AM 波も高い周波数で発振するこのことがこのことから判ります。その振幅は、定期的に変化する(エンベロープの変化)と、変調信号に比例します。したがって、変調信号の情報は、振幅変調波の振幅で伝送されます。次の図は、搬送波信号(変調されていない状態)から AM 波(変調された状態)にどのように信号の変化するかを示しています。

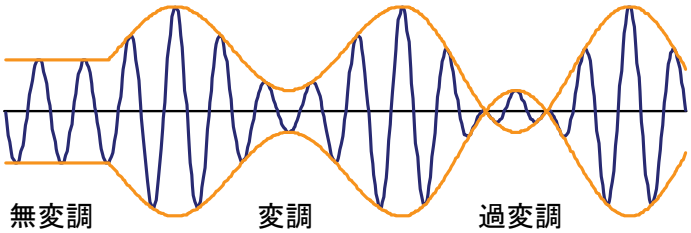


図 5-1. 図は、どのように無偏重の搬送波信号が変調される仮定を表します。

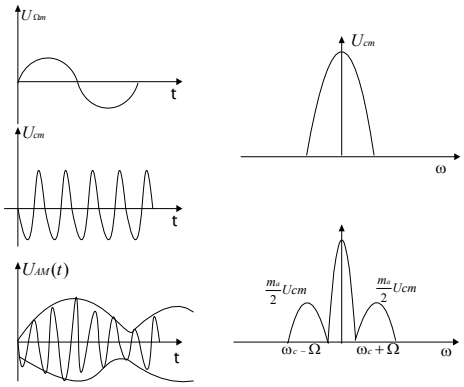


図 5-2. 時間ドメインと周波数ドメインの AM 波形

1. AM 波形のスペクトラム

次式を得るために式(4.3)を展開します。

$$u_{AM}(t) = U_{cm}\cos\omega_c t + \frac{1}{2}m_a U_{cm}\cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{1}{2}m_a U_{cm}\cos(\omega_c - \Omega)t$$

ここで見ることができるように、単一周波数で変調されたオーディオ信号は、3 つの高周波数成分で構成されています。キャリア信号に加えて、2 つの新たな周波数成分(ωC+Ω)と(ωC − Ω)が含まれています。一つは、ωC より高い上側波帯(upper sideband)と呼ばれる、もう一方は下側波帯(lower sideband)として知られているωC よりも低くなっています。そのスペクトルは、図 5-3 に示します。

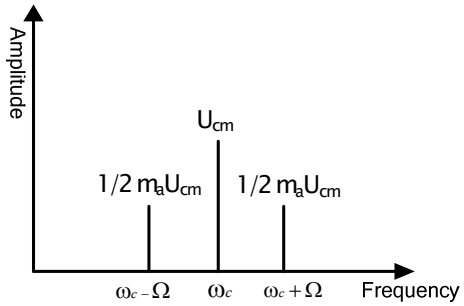


図 5-3. AM 波形のスペクトラム

上記の分析から、振幅変調は、高周波キャリア信号のサイドバンドに低周波変調信号を変換するプロセスであることを理解することができます。明らかに、AM 波では、キャリアには任意の有用な情報が含まれていません。情報は、側波帯に含まれています。

実験の内容

1. 1。AM 波の波形とスペクトルを測定します。
異なるキャリア波周波数と異なる振幅を持つ AM 波のスペクトルを測定します。

実験手順

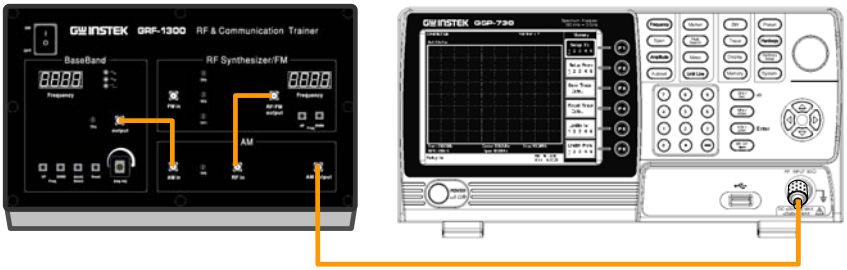
1. GRF-1300 と GSP-730 の電源をオンします。

2. GRF-1300 を次のように設定します:

GRF-1300 を初期設定状態にします。
RF ケーブルでベースバンド·モジュール上の出力ポートを AM モジュール上の RF 入力ポートに接続します。

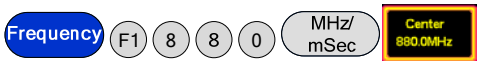
- RF ケーブルで AM モジュール上のポートに RF に RF / FM シンセサイザの FM / RF 出力ポートに接続します。
- ポテンショメータを時計方向一杯に回します。

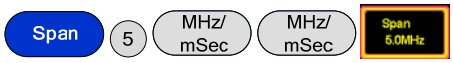
3. 800mm RF ケーブルを使って AM 出力ポートをスペクトラムアナライザの入力ポートに接続します。

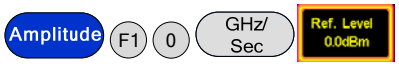


4. GSP-730 を次のように設定します:

- センタ周波数:880MHz
- スパン: 5MHz
- リファレンスレベル: 0dBm
- RBW: Auto

ステップ 1 

ステップ 2 

ステップ 3 

ステップ 4

5. スペクトラム·アナライザのマーカ機能で上側と下側波帯の電力と AM 波のキャリア波成分を測定します。ポテンショメータの位置(すなわち、振幅変調)に関連する TP4 の電圧をオシロスコープで測定します。表 5-4 にスペクトル図を描画してください。

ステップ 5

ステップ 6

6. ポテンショメータを反時計回りに回し真ん中にします。オシロスコープで電圧を測定します。変調信号の出力振幅を変更することにより、スペクトルの変化を観察することができますか？
表 5-4 に実験を記録してください。

7. ポテンショメータを反時計周りにし、出力電圧を減少させます。オシロスコープで電圧を測定します。 AM 波のスペクトラムに現われる任意の変化を観察し、それを表 5-4 に記録してください。

8. ポテンショメータを時計回り最大にします。変調信号の周波数を調整するためのベースバンドモジュール上の UP ボタンを調整します。AM 波のスペクトルの変化が観測できていますか？元のベースバンド周波数 100kHz のそれと実験結果を比較し、表 5-5 に記録してください。

ステップ 7

ステップ 8

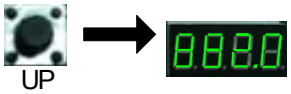
9. ベースバンドモジュールの UP ボタンを押し変調信号の周波数を調整します。AM 波のスペクトルに何か変化はありますか？実験結果を表 5-5 に記録してください。

ステップ 9

ステップ 10

上記の実験手順を完了した後、リセットボタンを押し、次にシンセサイザ/キャリア信号の UP ボタンを押し RF シンセサイザ/FM モジュールのキャリア信号の周波数を変更します。AM 波のスペクトルに何か変化はありますか？
880MHz の元の搬送波周波数と実験結果を比較し、表 5-6 に記録してください。

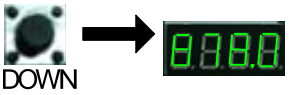
ステップ 11

ステップ 12 

ステップ 13

ステップ 14

RF シンセサイザ/FM モジュールの DOWN ボタンでキャリア信号の周波数を変更します。AM 波のスペクトルに何か変化はありますか？実験結果を表 5-6 に記録してください。

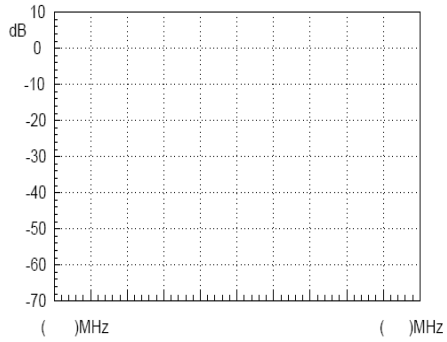
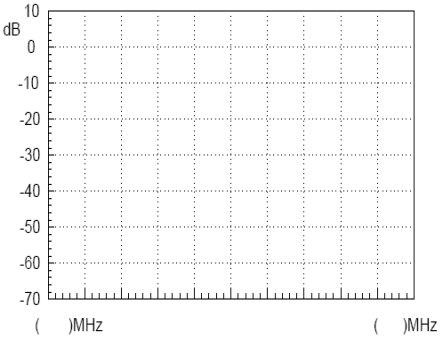
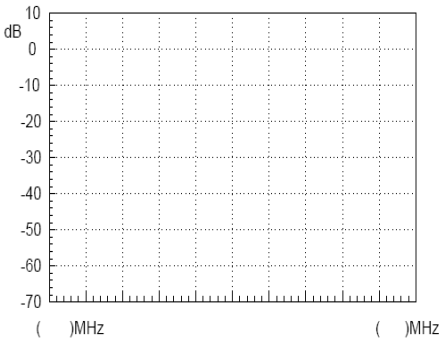
ステップ 15 

ステップ 16

実験結果

1. 変調電圧を変更します。

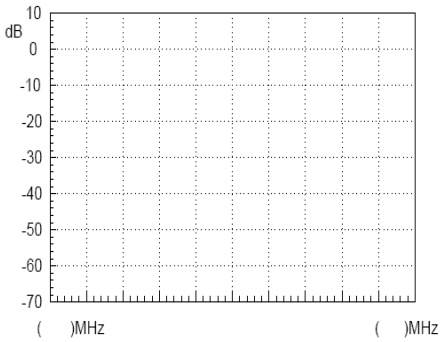
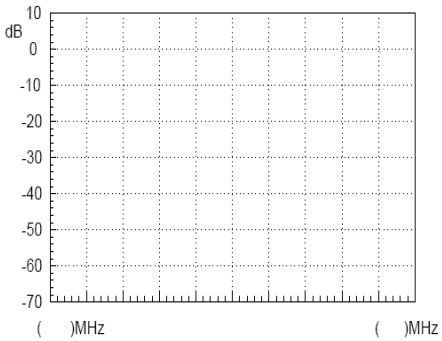
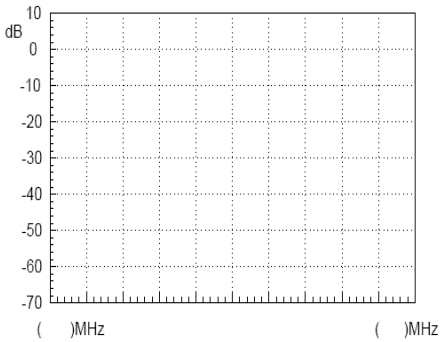
表 5-4. 実験結果：変調電圧を変更

Modulating voltage	実験結果
Vpp:	 キャリア電力：_____ 変調指数：_____ Lower sideband power: :_ __
Vpp:	 キャリア電力：_____ 変調指数：_____ Lower sideband power: :___
Vpp:	 キャリア電力：_____ 変調指数：_____ Lower sideband power: :___

Conclusion:

2. 変調信号の周波数を変更します。

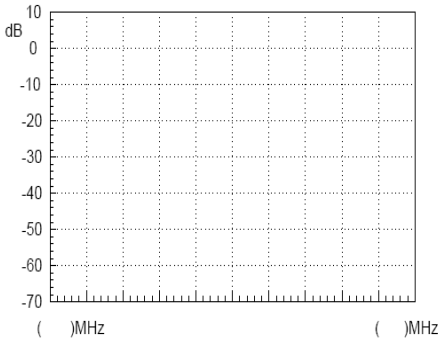
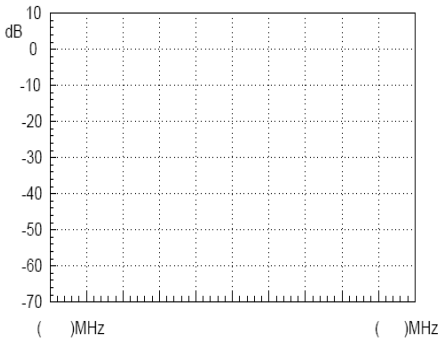
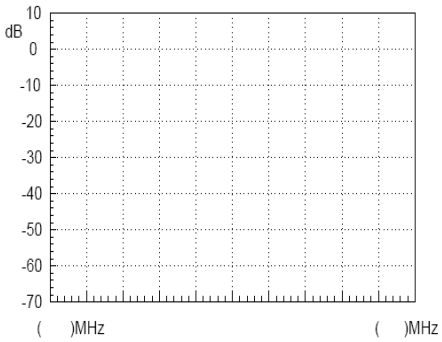
表 5-5. 実験結果：変調信号の周波数を変更します。

変調周波数	実験結果
100kHz	 キャリアパワー：___ Lower sideband power: :___
300Khz	 Carrier power: :___ Lower sideband power: :___
600kHz	 Carrier power: :___ Lower sideband power: :___

結論：

キャリア周波数を変更する。

表 5-6. 実験結果：キャリア周波数を変更

キャリア周波数	実験結果
882MHz	
880MHz	
878MHz	

結論:

問題

1. 振幅は同じままで変調波の周波数を変更した場合、AM 波が影響を受けますか？
2. AM モジュールの入力ケーブルが切り替えると何が起きますか？（RF 入力端子にベースバンド信号を接続し、キャリア信号を AM 入力端子にキャリア信号を接続します。）

学習 6： FM 信号の測定

関連情報

周波数変調が共通のタイプの変調のため、FM 波の原理と特性を学習することは重要です。AM 波と比較して、FM 波の振幅は変調信号の情報を伝えません。

これは、復調前に振幅の大きさからの妨害を除去するために、振幅制限器を使用することが可能です。FM 周波帯中の雑音電力スペクトル密度は、入力端子で均等に分配されます。しかし、周波数変調により、それは出力端子で周波数により影響を受けます。変調信号の帯域幅が FM 波の帯域幅よりもはるかに小さいので、ノイズを減衰させるためにローパスフィルタを通過させ、復調時の出力信号対ノイズ比を高めることができます。FM 波形は、パワーを効率的に利用し、ベースバンドシグナルを伝送するのに、振幅ではなく変調された信号の位相に依存しているので、高い忠実さを持っていて有利です。
この実験の FM 回路は、フェーズロックループを使用しています。前述したフェーズロックループ回路の原理は、このセクションのフェーズロックループ回路の応用を学習するために使用できます。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300
3	RF ケーブル	2	100mm
4	RF ケーブル	1	800mm
5	アダプタ	1	N-SMA

実験の目標

周波数変調の作動原理を理解してください。スペクトラムアナライザを使用して FM 波の FM 特性を測定します。

1. FM で使用されているフェーズロックループの原理を理解します。

実験の原理

1. 時間ドメインの解析：
   周波数変調は、キャリア波信号の周波数に対して変調信号の瞬時周波数偏移が変調信号の瞬時振幅に正比例している変調方式の一種です。

変調信号であると次のようであると仮定して
$u\Omega(t) = U\Omega m \cos\Omega t$

キャリア信号は
$uc(t) = Ucm \cos\omega c\, t = Ucm \cos 2\pi fc\, t$
です。
変調信号の変化で変わる FM 信号は、図 6-1 に示されます。

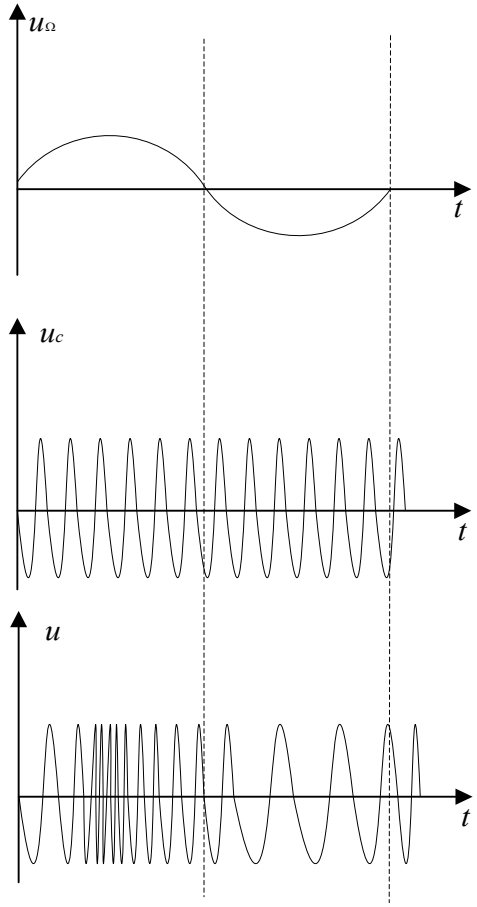


図 6-1. FM 信号の変調信号による変化

変調信号の正の半周期で、変調された信号の周波数は、キャリア信号の周波数より高くなります。正の半周期のピークで、変調された信号の角周波数はピークになります。

変調信号の負の半周期で、変調された信号の周波数は、キャリア信号の周波数より低くなります。また、その角周波数はその最小になります。

FM 波の角周波数ωは変調信号の変化に応じて変わります。

次に $\omega=\omega c+\Delta\omega\cos\Omega t$

この方程式では、ωc は搬送波の角周波数です。Δωは、変調信号 UΩによって決定された角周波数のオフセットです。

FM 信号の一般式は:

$$u(t)=U_{cm}\cos[\omega_c t+k_f\int_0^t u_\Omega(t)dt+\varphi_0]$$

$$=U_{cm}\cos[\omega_c t+k_f\int_0^t U_{\Omega m}\cos\Omega t dt+\varphi_0]$$

$$=U_{cm}\cos[\omega_c t+\frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega}\sin(\Omega t)+\varphi_0]$$

Assume that, $M_f=\frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega}=\frac{\Delta\omega_m}{\Omega}$ と仮定すると、

この式では、Mf は FM インデックスと呼ばれます、Δ ωm は最大の角周波数偏差と呼ばれ、その値は変調信号の振幅に比例します。

2. 周波数ドメイン解析
時間ドメインの FM 波形で表現すると

$$u(t) = U_{cm}\cos[\omega_c t + \frac{k_f U_{\Omega m}}{\Omega}\sin(\Omega t) + \varphi 0]$$
$$= U_{cm}\cos[\omega_c t + m_f \sin(\Omega t) + \varphi_0]$$

初期位相各を 0 とし、以下のように拡張します:
$u(t) = U_{cm}[\cos\omega_c t\cos(m_f \sin\Omega t) + \sin\omega_c t \sin(m_f \sin\Omega t)]$

$m_f << 1$, $\cos(m_f \sin\Omega t) \approx 1$ のとき
sin(mf sin Ωt) (mf sin Ωt)
次に $u(t) = U_{cm}\cos\omega_c t + m_f U_{cm}\sin\omega_c t \sin\Omega t$
$= U_{cm}\cos\omega_c t + \frac{m_f U_{cm}}{2}\cos(\omega_c + \Omega)t + \frac{m_f U_{cm}}{2}\cos(\omega_c - \Omega)t$ を得ます。

$m_f << 1$ であるとき、FM 波形のスペクトラムはキャリア、(ωc+Ω)周波数成分と(ωc − Ω)周波数成分であることが判ります。

$m_f >> 1$ のとき
$\cos(m_f \sin\Omega t) = J_0(m_f) + 2J_2(m_f)\cos 2\Omega t + 2J_4(m_f)\cos 4\Omega t + ...$
$\sin(m_f \sin\Omega t) = 2J_1(m_f)\sin\Omega t + 2J_3(m_f)\cos 3\Omega t + 2J_5(m_f)\sin 5\Omega t + ...$
この式の $J_n(m_f)$は、n 次の第 1 種ベッセル関数と呼ばていれます。

FM 波には無限数の周波数成分があります。また、それらは、キャリア周波数を中心として対称に分配されます。各成分の振幅はベッセル関数に依存します。

理論上、FM 帯域幅は無限です。しかし、FM 信号のエネルギーは、主にキャリア周波数近辺に集中します。

FM 信号の側波帯は、小振幅成分のみを含んでおり、エンジニアによって一般に実際上無視されます。

もし側波帯の振幅が 10%未満で無視できれば、以下のように FM 周波帯を得ることができます:

$B=2(m_f+1)F$
上の解析から

$$m_f = \frac{\Delta\omega_m}{\Omega} = \frac{\Delta F}{F}$$

ゆえに

その結果 $B=2(\Delta F + F)$
となります。
$\Delta F >> F$,のとき、広帯域変調です。

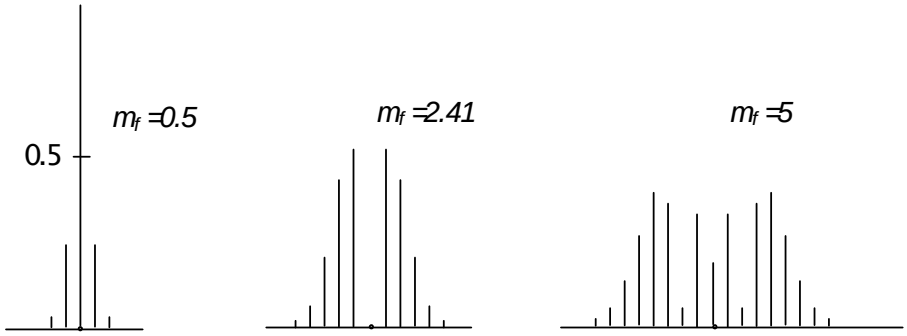
$m_f >> 1$, $B \approx 2\Delta F$

$\Delta F << F$, のとき狭帯域変調です。

≈

$m_f << 1, B \quad 2F$

Fm 信号における即は対成分の振幅は、周波数変調指数に関係しています。このことは、付録の比較表で見ることができます。(？ページ)
以下に、変調指数が 0.5、2.41 および 5 の信号の側波帯の絶対振幅のいくつかの例を示します。



GRF-1300 の FM 回路は、フェーズロックループを用いています。FM 変調のための PLL 回路は、直接 FM 変調におけるセンタ周波数安定度の問題を解消するのみでなく水晶発信子を用いた狭帯域 FM も解決します。

変調信号のスペクトラムは、位相ロックした FM 波を得るために、ローパスフィルタの通過帯域外になければいけません。VCO の中心周波数が安定した高周波にロックした場合、変調信号が変化した場合に、VCO が変化することを可能にします。

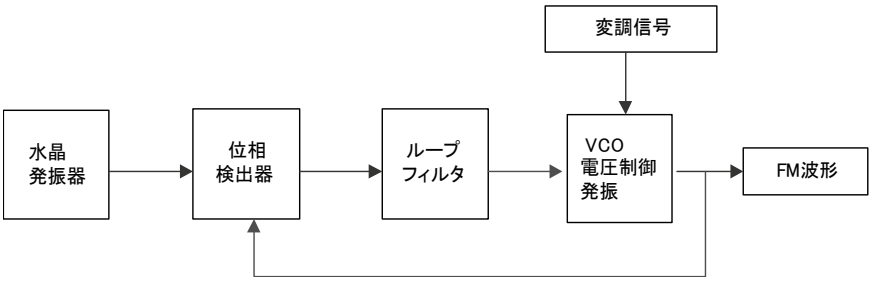


図 6-2. GRF-1300 FM 原理

実験の内容

1. FM 波形のスペクトラムを測定します。
変調信号の振幅がどのように FM 波周波数偏差に影響するか観察してください。
変調信号の周波数がどのように FM 波周波数偏差に影響するか観察してください。

実験手順

1. GRF-1300 と GSP-730 の電源をオンします。

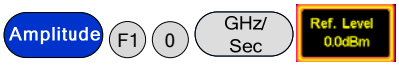
2. GRF-1300 を以下のように設定します:
初期状態(電源をオンした最初の状態)で、ポテンショメータを最小の位置にしてください。RF ケーブルでベースバンドモジュールの出力ポートと FM シンセサイザ/FM モジュールの FM 入力ポートを接続してください。
RF/FM 出力ポートとスペクトラムアナライザの入力ポートを RF ケーブルで接続してください。

3. GSP-730 を以下のように設定します:

   - センタ周波数:880MHz
   - スパン:50MHz
   - リファレンスレベル: 0dBm
   - RBW: Auto (初期状態は、100kHz です)

   ステップ 1

   ステップ 2

   ステップ 3 

   ステップ 4

4. スペクトラムアナライザのマーカ機能を使用しこのときのキャリア位置を測定します。

   ステップ 5

5. ポテンショメータを時計回りに任意の位置に回します。オシロスコープで電圧を測定します。変調信号の出力振幅を変更した後に FM 波のスペクトル変化が変化していますか?
   以下の手順に従い周波数偏差を測定し、表 6-2 に記録してください。

   ステップ 6

6. ポテンショメータを再び時計回りに回し別の位置にます。オシロスコープで電圧を測定します。変調信号の出力振幅を変更したとき FM 波のスペクトルが変化しますか?
   以下の手順に従い周波数偏差を測定し、表 6-2 に記録してください。

   ステップ 7

7. ポテンショメータを最大の位置に調整します。上記の手順を繰り返し、表 6-2 に結果を記録します。

   ステップ 8

8. 上記実験手順の完了後、ベースバンドモジュール上の UP ボタンで変調信号の周波数を変更し、FM 波のスペクトルが変化するか確認します。オリジナルの 100kHz のベースバンド信号と比較し、表 6-3 に記録してください。

ステップ 9

9. 変調信号の周波数を 600kHz に変更します。FM 波のスペクトルの変化を観察し、表の結果は 6-3 を記録してください。

ステップ 10

10. 変調信号の周波数を 1MHz に変更します。FM 波のスペクトルの変化を観察し、その結果を表 6-3 に記録してください。

ステップ 11

11. 上記の実験手順を完了後、リセットボタンを押し、50MHz のスパン内に FM スペクトルを表示するために、変調信号の振幅を最小にします。その後、FM モジュール RF に DOWN ボタンを使用しシンセサイザ/キャリア信号の周波数を変更します。FM 波のスペクトルの変化があるかどうかを確認します。元の 880MHz のキャリア波周波数とこの結果を比較し、表 6-4 に記録します。

ステップ 12

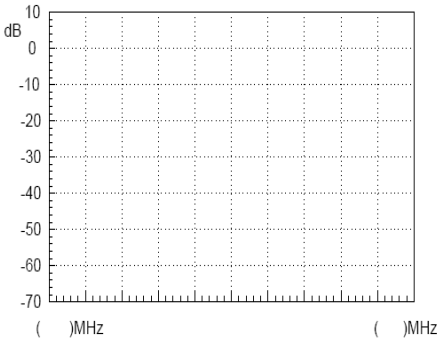
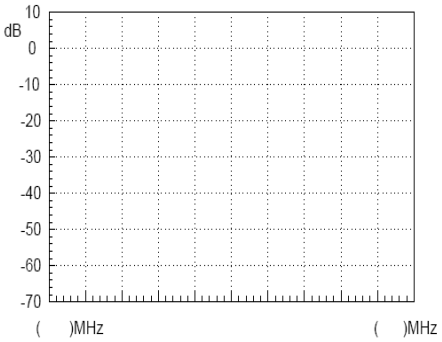
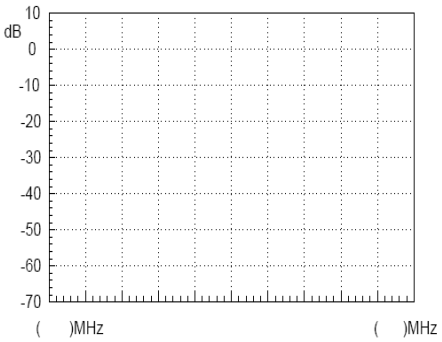
ステップ 13

12. 再度、キャリア波周波数を調整します。FM 波のスペクトルに何か変更があるかどうかを確認し、表 6-4 に記録します。

ステップ 14

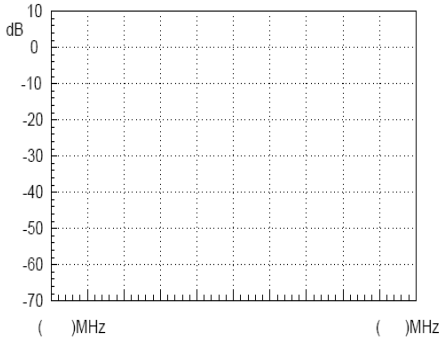
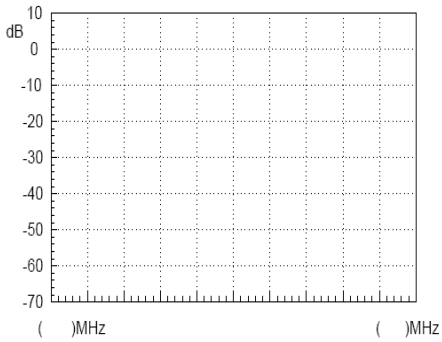
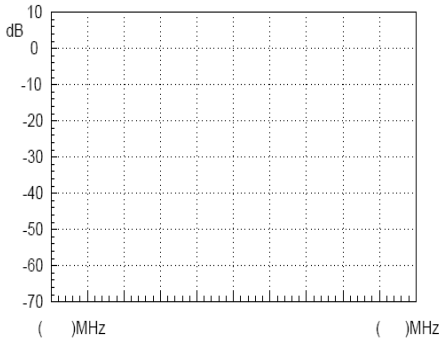
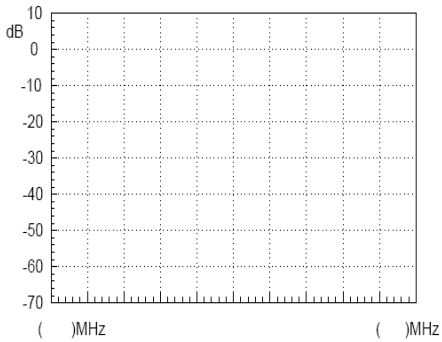
実験結果　　1. 変調信号の振幅を変更します。

表 6-2。実験結果：変調信号の振幅を変更

変調電圧	実験結果
Vpp:	 周波数偏差: FM 指数：
Vpp:	 周波数偏差： FM 指数：
Vpp:	 周波数偏移： FM 指数：
結論	

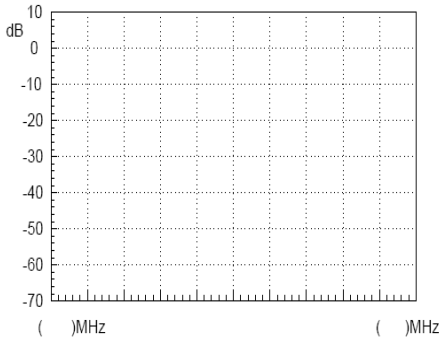
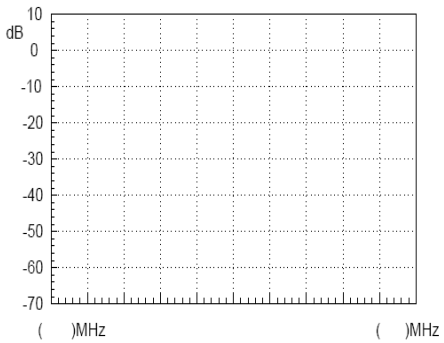
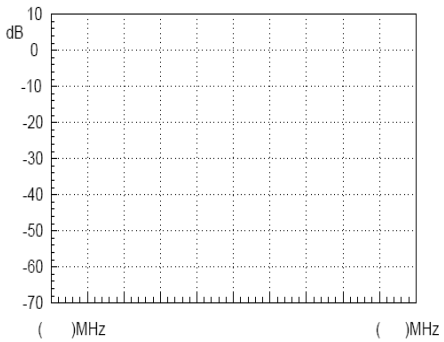
2. FM 信号の周波数を変更します。

表 6-3. 実験結果:FM 信号の周波数を変更

変調周波数	実験結果
100kHz	
300Khz	
600kHz	
1MHz	
結論	

3. キャリア周波数の変更

Table 6-4.実験結果：キャリア周波数を変更

キャリア周波数	実験結果
875MHz	
880MHz	
890MHz	
結論	

4. オシロスコープで測定した AM 波の時間ドメイン波形を表示に記録してください。

質問

FM 波では、変調信号の振幅を一定に保つと変調信号の周波数を 2 倍にしたとき、周波数偏差と変調信号の帯域幅の変化はどのようになりますか？

スペクトラムアナライザで得られた測定データから変調回路の FM 指数を計算してください。

学習 7:通信システムでスペクトラムアナライザを使用する

関連情報

ACPR と OCBW は、RF 変調信号の測定における重要なパラメータです。スペクトラムアナライザを使用して ACPR と OCBW の測定する習得することは非常に重要です。スペクトラムアナライザは、RF パラメータを測定するために頻繁に使用されます。将来のスペクトラムアナライザを使用のための基盤を学習するために、その活用方法を学習する必要があります。

ACPR はメインチャネルから隣接チャネルへの漏洩電力量の比です。OCBW は、チャネルの総電力の特定のパーセンテージを含む占有周波数帯幅です。

現在のところ、第三世代移動通信システム(3G)は、広く普及し一部の国や企業は第四世代移動通信システム(4G)を開発しようとしています。この実験は、従って、CDMA の RF パワーおよび関連分野の測定のために非常に実用的です。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF 通信トレーナ	1	GRF-1300
3	RF ケーブル	2	100mm
4	RF ケーブル	1	800mm
5	アダプタ	1	N-SMA

実験目的

1. ACPR 測定の原理を理解し、実際の ACPR 測定を実施することができます。

2. OCBW の測定原理を理解し、実際の OCBW 測定を実行することができます。

実験原理

1. ACPR 測定

ACPR(隣接チャネル電力比)は、メインチャンネルから隣接チャネルへの漏洩電力量の比を表します。その値は、他のチャネルの伝送帯域への送信機の漏れがどのくらいの電力かを表します。通常、隣接チャネルは伝送路に最も近い隣接チャネルを指し、他のチャンネルは、測定の要件に応じて選択することができます。

類似の周波数を持つ 2 つの信号が RF パワーアンプに入力された場合、2 つの出力信号だけでなく、相互変調信号(入力信号 1±入力信号 2)があります。典型的な入力と出力の周波数スペクトルを、図 7-1 に示します。

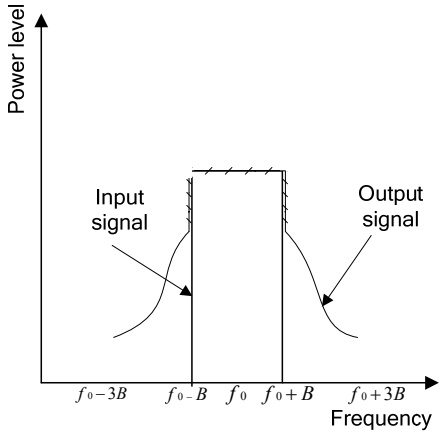


図 7-1. RF パワーアンプの入力と出力

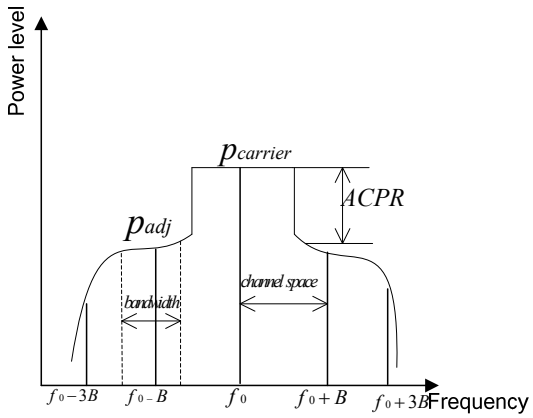


図 7-2. ACPR の定義

ACPR の定義に従って（図 7-2）、我々は $ACPR = 10\log(P_{adj} / P_{carrie})$を知っています。

スペクトラム･アナライザを使用して ACPR を測定する場合は、まずスパンと分解能帯域幅（RBW）の適切な設定を選択する必要があります。スパンは、測定帯域幅よりも大きくする必要があります。 RBW、測定帯域幅の約 1%に等しくなければなりません。スペクトラムアナライザの掃引時間は RBW の二乗に反比例するため、RBW の設定を考慮する必要があります。

RBW は、測定チャネル帯域幅の 4%以上にしてはいけません。それ以外の場合は、RBW が広すぎるとチャンネルの元のスペクトルを見えなくなります。 GSP-730 は、RBW の設定範囲をいくつか持っています。したがって、オートモードで RBW を正しく設定します。

2. OCBW 測定

OCBW 測定は、指定した量のチャネルパワーのために占有帯域幅を測定するためのものです。これは指定した量のパワーのためにチャンネルパワーの割合として占有周波数帯幅を測定するために使用されます。一般に用いられている測定用パラメータは次のとおりです：チャンネル帯域幅、チャンネル間隔および OCBW%。

実験の内容

1. GRF-1300 によって生成された FM 信号から ACPR を測定します。
2. GRF-1300 によって生成された FM 信号から OCBW を測定します。

実験手順

1. GRF-1300 と GSP-730 の電源をオンします。
2. GRF-1300 を次のように設定します:

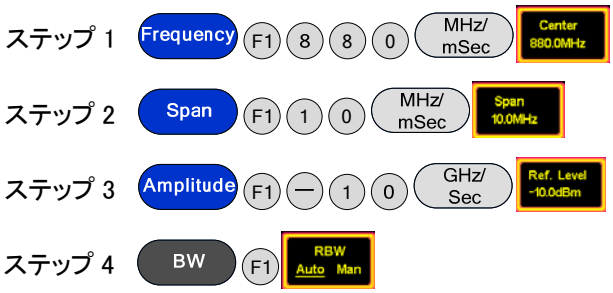
GRF-1300 の設定を初期状態にします。

- RF シンセサイザ/ FM モジュールの FM 入力ポートへ FM ベースバンド出力を RF ケーブルで接続します。

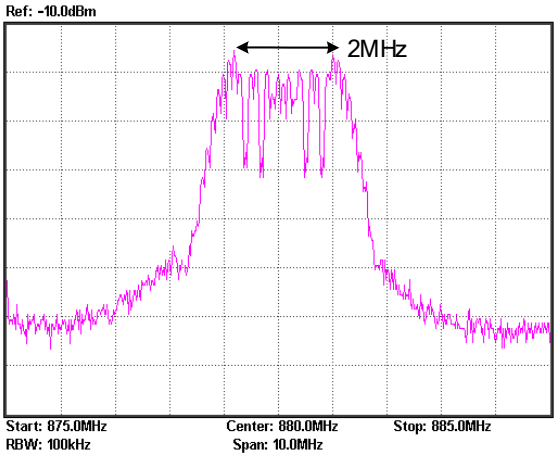
スペクトラム·アナライザの入力端子に RF/FM モジュールの出力端子を RF ケーブルを使って接続します。

3. GSP-730 を次のように設定します:

- センタ周波数:880MHz
- スパン: 10MHz
- リファレンスレベル: -10dBm
- RBW: Auto



4. 振幅ツマミで FM 周波数偏差を 1MHz(合計で 2MHz)に調整します。



5. 上記の設定後、ACPR と OCBW を測定します。

ACPR 測定

ステップ 1 Meas (F2) ACPR ON OFF

ステップ 2 (F1) Main CH BW

メインチャンネルの帯域幅を 2MHz に設定します。

ステップ 3 (F2) Main CH Space

メインチャンネルスペースを設定します。

ステップ 4 (F3) ACPR Setup... (F1) Adj CH BW 1

1st 隣接チャネルの帯域幅を 0.8MHz に設定します。

ステップ 5 (F2) Adj CH Offs 1

1st 隣接チャネルのオフセットを 0.8MHz に設定します。

ステップ 6 (F3) Adj CH BW 2

2nd 隣接チャネルの帯域幅を 0.5MHz に設定します。

ステップ 7 (F4) Adj CH Offs 2

2nd 隣接チャネルのオフセットを 4MHz に設定します。

周波数偏差を振幅ツマミで 2MHz（合計 4MHz）まで大きくします。再度、ACPR を測定し、表 7-1 に結果を記録してください。

OCBW 測定

ステップ 1 Meas (F3) ACPR ON OFF

ステップ 2 (F1) Main CH BW

2MHz を測定するようにチャネルの帯域幅を設定します。

ステップ 3 (F2) Main CH Space

メインチャンネルスペースを 10MHz に設定してください。

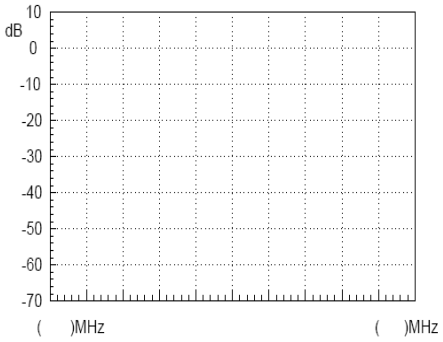
ステップ 4 OCBW の初期値は 90%です。

測定結果を表 7-2 に記録してください。

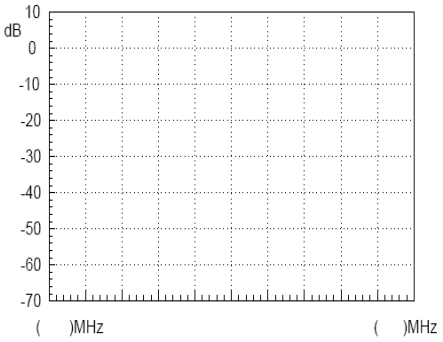
ステップ 5　GRF-1300 のポテンショメータを調整して、FM 波の周波数偏差を調整します。再度、OCBW を測定し、表 7-2 に結果を記録してください。

測定データを表 7-2 へ記録します。

実験結果　　1. ACPR 測定結果



1MHz 周波数偏差の結果

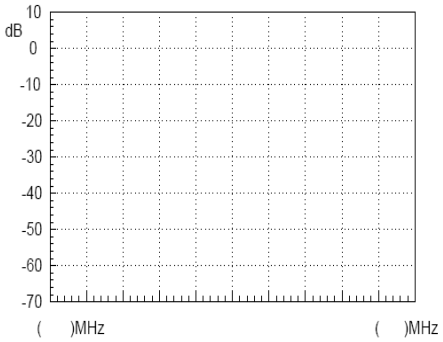


2MHz 周波数偏差の結果

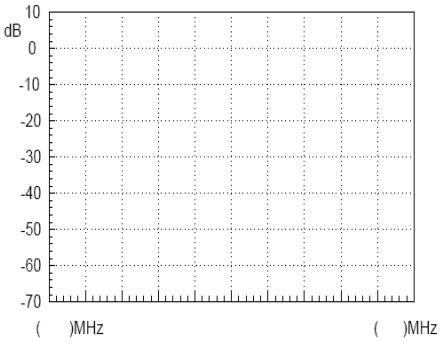
表 7-1. ACPR 測定結果

	項目			
試験番号	Lower ACPR1	Upper ACPR1	Lower ACPR2	Upper ACPR2
1				
2				
3				
4				
平均				

2.　OCBW 測定結果



1MHz 周波数偏差の結果



2MHz 周波数偏差の結果

表 7-2. OCBW 測定結果

OCBW%:_____			
試験番号	CH Power	OCBW	平均
1			
2			
3			
4			
5			

質問　ACPR の定義を説明してください?

注意　複数の測定値を取得し、平均値を計算することは、ACPR と OCBW 測定のために必要とされています。平均を計算する機能は、対数を使用し平均を関数を使用して使用することができません。

複数の測定をし、その平均値を得ることは ACPR と OCBW 測定に必要です。それが平均を計算する対数を使用すると同様、スペクトラムアナライザの平均機能を使用することはできません。

学習 8: 通信機器の測定

関連情報

コンピュータのマウスは、1968 年の開始以来ほぼ四十年の間、進化と発展をしてきました。過去 10 年間の消費者指向のコンピュータの人気と、マウスは非常に大きな進歩をとげています。初期の機械式のマウスから現在主流の光学式マウス、またはハイエンドレーザーマウスに、マウスのそれぞれの進化は、それぞれを使用することがより楽しくなっています。

さらに、より優れた作業環境の需要は、ワイヤレスマウスが非常に人気になっています。周波数帯とその目的に応じて無線技術は、Bluetooth など、Wi-Fi の(IEEE 802.11)、赤外線(IrDA)、ZigBee(IEEE 802.15.4)などなど、さまざまなカテゴリーに分かれています。現在主流のワイヤレスマウスは、それぞれ 27MHz、2.4GHz および Bluetooth と 3 つのカテゴリーがあります。

この実験は、実際の通信製品(この場合はワイヤレスマウス)の測定を行います。この実験を実行した後、スペクトラム·アナライザと使用される測定方法を十分理解してください。この実験では、RF の知識を統合するのに役立ちますし、実用的なスペクトラムアナライザのスキルを強化します。

実験設備

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	2.4G ワイヤレスマウス	1	
3	アンテナ	1	
4	アンテナ	1	N-SMA

実験の目的

1. 一般的な日常の電子通信製品からいくつかのパラメータを測定するためにスペクトラムアナライザを使用します。

2. ワイヤレスマウスがどのように作動するか知ってください。

実験原理

この実験では、2.4G ワイヤレスマウスを使用します。それは、いわゆる 2.4G の周波数帯を使用しています。 27MHz 帯にたいする 2.4G 帯の利点は、27MHz 帯は伝送距離が短かく、他のデバイスからの干渉を受けやすいということです。それは、2.4GHz の周波数帯域で動作するため、2.4G と呼びます。
唯一の違いは、各ボタンを押して送信機を経由して無線で送信するのと同様に X & Y 位置です。その後、無線受信機は、信号を解読した後、この情報をホストへ渡します。その後、ドライバは、信号をマウスアクションに変換するようにオペレーティングシステム(OS)に命令します。

実験内容

ワイヤレスマウスから送信される信号の周波数とパワーを測定します。

実験手順

1. アンテナをスペクトラムアナライザの入力ポートに接続します。

2. GSP-730 を次のように接続します:

   - センタ周波数: 2.4GHz
   - スパン: 200MHz
   - リファレンスレベル: -20dBm
   - RBW: Auto

ステップ 1 Frequency F1 2 . 4 GHz/Sec → Center 2.4GHz

ステップ 2 Span F1 2 0 0 MHz/mSec → Span 200.0MHz

ステップ 3 Amplitude F1 — 2 0 GHz/Sec → Ref. Level -20.0dBm

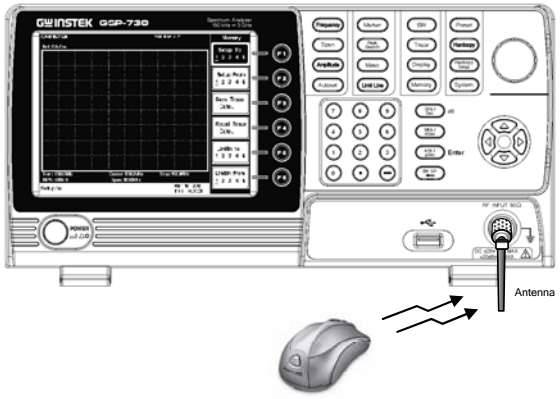
ステップ 4 BW F1 → RBW Auto Man

3. ワイヤレスマウスをオンします。

ステップ 5 Trace F3 → Peak Hold

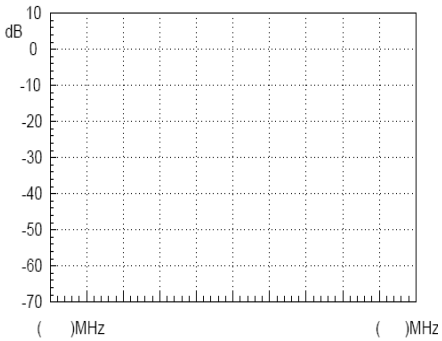
ステップ 6 Peak Search

4. 接続図を以下に示します。



5. Bluetooth デバイスやワイヤレスネットワークカードの測定は、同じ方法で使用するができます。

実験結果



送信周波数: _____

送信信号電力: _____

質問 2.4 G の帯域幅で動作すワイヤレスマウスの利点は何ですか？

ヒント　ワイヤレスマウスから発せられる信号をキャプチャするために、スペクトラムアナライザのピークホールド機能を使用しています。それは、動的に信号を測定することは容易ではないためです。

実験 9：生産ラインのアプリケーション

関連情報

スペクトラムアナライザは、RF 通信製品の PASS/FAIL テストに使用することができます。テストは、PC を使用してのリモート制御や本体単独で手動で行うことができます。リモートコントロールを使用する場合は、スペクトラムアナライザのパラメータ設定とテスト結果をリモートで返すことができます。

この機能は、多くの時間を節約し、生産ラインの効率を向上させることができます。この実験では、GRF-1300 を生産ライン環境で使用することを想定しています。我々は、リミットライン機能を使用して簡単なテストを実行し、製品がテストに合格しているかどうかを確認し、リモートコマンドを使用してテスト結果を確認します。

実験装置

項目	設備	数量	備考
1	スペクトラムアナライザ	1	GSP-730
2	RF & Communication Trainer	1	GRF-1300
3	RF wire	1	800mm
4	Adapter	1	N-SMA

実験の目標

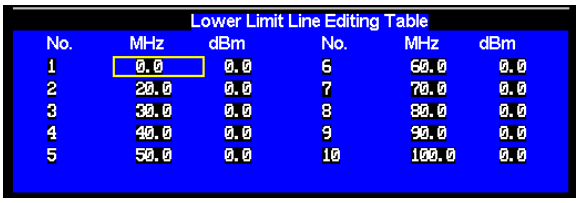
1. PASS/FAIL リミット·ラインの編集について学び、PASS/FAIL テストの実行方法を理解します。

2. スペクトラムアナライザのテストデータを呼出すには、リモートコマンドを使用します。

実験原理

1. リミットラインの編集と PASS/FAIL テスト：
上限と下限リミットラインは全体の周波数スパン全体に適用されます。リミットラインは、信号振幅が設定された振幅レベルの上または下かどうかを検出するために使用します。PASS/FAIL テストの判定は、画面の下部に表示されます。

リミット·ラインを作成するには、以下に示す下限ラインの編集表の 10 ポイントを編集します。



各ポイントの振幅と周波数を設定します。別のポイントのそれぞれにカーソルを移動するには、矢印キーを使用します。同じ方法で上限と下限リミットラインの両方を編集します。PASS/FAIL テストは、リミットラインを設定した後に開始することができます。

2. 2。試験結果のリードバックにリモートコマンドを使用します。

3. リモートコマンドでテスト結果を呼び出します。テストのためにスペクトラムアナライザの設定を手動で設定する場合、時間がかかることがあります。ここでは、·スペクトラムアナライザ上のさまざまなパラメータを設定するためにリモートコマンドを使用します。以下にこれらのコマンドのいくつかを簡単に説明します。

周波数コマンド	meas:freq:cen?	センタ周波数を Hz で返します。
	meas:freq:cen	センタ周波数を設定します。例えば： meas:freq:cen_100_mhz
	meas:freq:st?	スタート周波数を Hz で返します。
	meas:freq:st	スタート周波数を設定します。例えば： meas:freq:st_100_mhz
	meas:freq:stp?	ストップ周波数を kHz で返します。
	meas:freq:stp	ストップ周波数を設定します。例えば： meas:freq:stp_100_mhz
スパンコマンド	meas:span?	スパン周波数の設定を返します。
	meas:span	スパン周波数を設定します。例えば： meas:span:10_mhz
	meas:span:full	スパンをフルスパンに設定します。
振幅コマンド	meas:refl:unit?	リファレンスレベルの単位を返します。
	meas:refl:unit	リファレンスレベルの単位を設定します。 パラメータ：1(dBm)、2(dBmV)、3(dBuV)
	meas:refl?	リファレンスレベルを dBm で返します。
	meas:refl	リファレンスレベルを dBm で設定します。例えば： meas:refl:-30
リミットラインコマンド	meas:lmtline:on	リミットラインをオンにします。 パラメータ： 0(low limit line), 1(high limit line)
	meas:lmtline:off	リミットラインをオフします。 パラメータ： 0(low limit line), 1(high limit line)
	meas:lmtline:passfail_on	PASS/FAIL テストをオンします。

実験内容

1. GRF-1300 からの信号で PASS/FAIL テストを実行するには上限/下限リミットを設定してください。
2. リモートでスペクトラムアナライザを設定するためにリモートコマンドを使用します。

実験の手順

1. GRF-1300 と GSP-730 の電源をオンします。

電源投入時の初期状態に GRF-1300 を設定します。

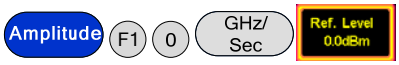
2. ベースバンドモジュールの出力ポートから RF シンセサイザー/ FM モジュールのポートへ RF ケーブルで接続します。

3. GSP-730 を次のように接続します:

- センタ周波数: 880MHz
- スパン: 50MHz
- リファレンスレベル: 0dBm
- RBW: Auto

ステップ 1

ステップ 2

ステップ 3 

ステップ 4

Pass/Fail リミットラインテスト

ステップ 5

ステップ 6

下図の表示で、各ポイントの振幅の大きさと周波数を設定することができます。ポイントを選択し、テンキーと単位キーを使用して、それを編集するには、カーソルを移動します。(F6)を押し前のメニューへ戻ります。

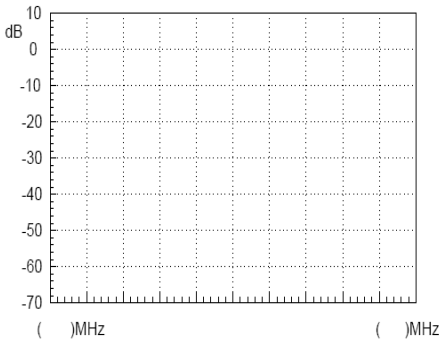
ステップ 7

4. 上記手順に従って、リミット·ラインを設定することができます。

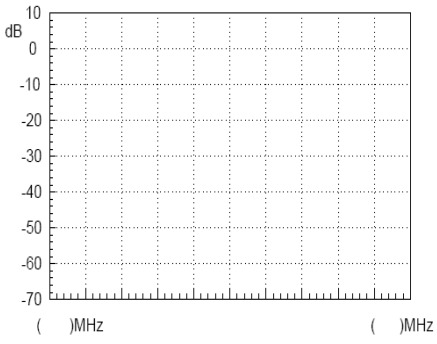
5. GRF-1300 の振幅ツマミを調整します。PASS/FAIL テストの結果を観測し、表 9-1 に結果を記録してください。

6. 同じ機能は、ターミナルソフトウェア(例:ハイパーターミナル)を使用し、PC からリモートコマンドを送信することで出来ます。

実験結果



5MHz 周波数偏差テストの結果



10MHz 周波数偏差テストの結果

表 9-1. 振幅ツマミの位置を調整した結果

学習成果のテスト

以前の実験では、フェーズロックドループ、振幅変調と周波数変調の背景にある概念を紹介し、今はそれらをよく理解しています。しかし、それは完全に RF 回路を理解するのに十分ではありません。この実験では、一つのシステムを形成するために、これらの 3 つの部分を兼ね備えています。
実験は誤動作を診断（シミュレーション）するために使用できるように、回路内の各モジュールは、リモートコマンドを介してオン/オフする事ができます。これらの不具合の原因を分析するとき、それぞれの背後にある関係と原則についての全体的な理解をすることができます。これは、PLL、AM と FM の知識を構築するのに役立ちます。

実験の目的

1. フェーズロックループがロック状態に入るか、アンロック状態を理解します。
2. 全体的な通信システムを理解します。

実験内容

インストラクタは、GRF-1300 へリモートコマンドを送信し、誤動作状態を作成します。受講者は、故障/障害の原因を推測/確認するため、オシロスコープ、スペクトラム·アナライザおよび/またはその他の測定器を使用して誤動作/不具合の原因を推測/検証することができます。

1：RF 信号の故障シミュレーション

故障 1

障害の説明：

仮説：

証明：

故障 2

障害の説明：

仮説：

証明：

2：FM 故障シミュレーション

故障 1

障害の説明:

仮説: _____

_____

証明: _____

_____

故障 2

障害の説明: _____

_____

仮説: _____

_____

証明: _____

_____

故障 3

障害の説明: _____

_____

仮説: _____

_____

証明: _____

_____

故障 4

障害の説明: _____

_____

仮説: _____

_____

証明: _____

_____

3:AM 故障シミュレーション

故障 1

障害の説明: _____

_____

仮説: _____

_____

証明: _____

_____

故障 2

障害の説明: _____

_____

仮説: _____

_____

証明: _____

_____

故障 1

障害の説明: _____

_____

仮説: _____

_____

証明: _____

_____

故障 2

障害の説明: _____

_____

仮説: _____

_____

証明: _____

メモ

メモ

メモ

メモ

付録

設問で利用できるいくつかの一般的に使用される変換テーブルを用意しています。

dBm 換算表

dBm、dBuV および dBmV はすべて絶対単位です。つまり、それらは物理量を表わします。対応する換算表は下のようになります:

dBm	mW	uV	dBuV	dBmV
−30	0.001	7071.07	76.9897	16.9897
−25	0.003	12574.33	81.9897	21.9897
−20	0.010	22360.68	86.9897	26.9897
−15	0.032	39763.54	91.9897	31.9897
−10	0.100	70710.68	96.9897	36.9897
−5	0.316	125743.34	101.9897	41.9897
0	1.000	223606.80	106.9897	46.9897
5	3.162	397635.36	111.9897	51.9897
10	10.000	707106.78	116.9897	56.9897
15	31.623	1257433.43	121.9897	61.9897
20	100.000	2236067.98	126.9897	66.9897
25	316.228	3976353.64	131.9897	71.9897
30	1000.000	7071067.81	136.9897	76.9897

dB と dBc の関係

上記の表の数値は、50Ω 負荷に基づいています。例として、−30dBm は 0.001mW または 10^{-6}W と等しく、もちろん 7071.07μV または 0.007071mV です。

上記の表から式と導出は以下のとおりです::

$$P_{inmW} = 10^{\frac{dBm}{10}} \Rightarrow V = \sqrt{P \times R}$$

$$\Rightarrow dBuV = 20 \times \log(\frac{V}{uV})$$

further $dBm = 10 \times \log(\frac{P}{mW})$ $dBmV = 20 \times \log(\frac{V}{mV})$

dB と dBc に関しては、それらは相対的な単位です。電力では、20dB の差は 100 倍の差に等しい。

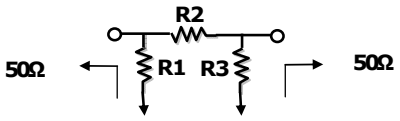
質問 0dBm と−50dBm の間の違いは何ですか。
それは、50dB あるいは 50dBm ですか。

回答 50dB

Explanation 0dBm = 1mW, −50dBm = 10^{-5}mW, したがって、両者の違いは 10^5 で 0.99999mW の差に等しい
そして、0.99999mW は−0.0000434dBm ≈ 0dBm と等しい。

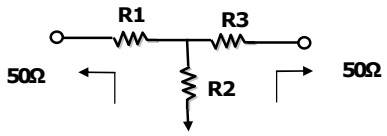
50dBm = 10^5mW = 100W. Obviously 50dBm は、不正解です。

抵抗値：π –type 抵抗アッテネータ



dB	R1	R2	R3
1	869.55	5.77	869.55
2	436.21	11.61	436.21
3	292.40	17.61	292.40
4	220.97	23.85	220.97
5	178.49	30.40	178.49
6	150.48	37.35	150.48
7	130.73	44.80	130.73
8	116.14	52.84	116.14
9	104.99	61.59	104.99
10	96.25	71.15	96.25
11	89.24	81.66	89.24
12	83.54	93.25	83.54
13	78.84	106.07	78.84
14	74.93	120.31	74.93
15	71.63	136.14	71.63
16	68.83	153.78	68.83
17	66.45	173.46	66.45
18	64.40	195.43	64.40
19	62.64	220.01	62.64
20	61.11	247.50	61.11
25	55.96	443.16	55.96
30	53.27	789.78	53.27
35	51.81	1405.41	51.81
40	51.01	2499.75	51.01

抵抗値:T-type 抵抗アッテネータ



dB	R1	R2	R3
1	2.88	433.34	2.88
2	5.73	215.24	5.73
3	8.55	141.93	8.55
4	11.31	104.83	11.31
5	14.01	82.24	14.01
6	16.61	66.93	16.61
7	19.12	55.80	19.12
8	21.53	47.31	21.53
9	23.81	40.59	23.81
10	25.97	35.14	25.97
11	28.01	30.62	28.01
12	29.92	26.81	29.92
13	31.71	23.57	31.71
14	33.37	20.78	33.37
15	34.90	18.36	34.90
16	36.32	16.26	36.32
17	37.62	14.41	37.62
18	38.82	12.79	38.82
19	39.91	11.36	39.91
20	40.91	10.10	40.91
25	44.68	5.64	44.68
30	46.93	3.17	46.93
35	48.25	1.78	48.25
40	49.01	1.00	49.01

変調指数と側波帯振幅比較表

Modulation index	Sideband																
	Carrier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0.00	1.00																
0.25	0.98	0.12															
0.5	0.94	0.24	0.03														
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02													
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01												
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03												
2.41	0	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02											
2.5	−0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01										
3.0	−0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01										
4.0	−0.40	−0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02									
5.0	−0.18	−0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02								
5.53	0	−0.34	−0.13	0.25	0.40	0.32	0.19	0.09	0.03	0.01							
6.0	0.15	−0.28	−0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02							
7.0	0.30	0.00	−0.30	−0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02						
8.0	0.17	0.23	−0.11	−0.29	−0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03					
8.65	0	0.27	0.06	−0.24	−0.23	0.03	0.26	0.34	0.28	0.18	0.10	0.05	0.02				
9.0	−0.09	0.25	0.14	−0.18	−0.27	−0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01			
10.0	−0.25	0.04	0.25	0.06	−0.22	−0.23	−0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01		
12.0	0.05	−0.22	−0.08	0.20	0.18	−0.07	−0.24	−0.17	0.05	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01

Declaration of Conformity

We

GOOD WILL INSTRUMENT CO., LTD.
No. 7-1, Jhongsing Rd, Tucheng Dist., New Taipei City 236. Taiwan.

GOOD WILL INSTRUMENT (SUZHOU) CO., LTD.
No. 69 Lushan Road, Suzhou City(Xin Qu), Jiangsu Sheng, China. declare that the below mentioned product
Type of Product: **RF & Communication Trainer**
Model Number: **GRF-1300**
are herewith confirmed to comply with the requirements set out in the Council Directive on the Approximation of the Law of Member States relating to Electromagnetic Compatibility (2004/108/EEC) and Low Voltage Directive (2006/95/EEC).

For the evaluation regarding the Electromagnetic Compatibility and Low Voltage Directive, the following standards were applied:

◎ **EMC**	
EN 61326-1:	Electrical equipment for measurement, control and laboratory use -- EMC requirements (2006)
Conducted & Radiated Emission ClassB EN 55011: 2009+A1: 2010	Electrostatic Discharge IEC 61000-4-2: 2008
Current Harmonics EN 61000-3-2: 2006+A2: 2009	Radiated Immunity IEC 61000-4-3: 2006+A2: 2010
Voltage Fluctuations EN 61000-3-3: 2008	Electrical Fast Transients IEC 61000-4-4: 2004+A1: 2010
----------	Surge Immunity IEC 61000-4-5: 2005
----------	Conducted Susceptibility IEC 61000-4-6: 2008
----------	Power Frequency Magnetic Field IEC 61000-4-8: 2009
----------	Voltage Dip/ Interruption IEC 61000-4-11: 2004

Low Voltage Equipment Directive 2006/95/IEC	
Safety Requirements	IEC 61010-1: 2010 (Third Edition)

製品についてのご質問等につきましては、下記まで
お問い合わせください。
TEL：03-5823-5656　FAX：03-5823-5655

お問い合わせ　E-Mail：info@instek.co.jp
HomePage：http://www.instek.co.jp

株式会社　インステック　ジャパン
〒101-0032　東京都千代田区岩本町 1-3-3